

Є. КОРДЮМ, Д. ЧЕПМЕН

РОСЛИНИ В КОСМОСІ

E. KORDYUM, D. CHAPMAN

PLANTS IN SPACE







E. KORDYUM, D. CHAPMAN

PLANTS IN SPACE

**COLLABORATIVE
UKRAINIAN
EXPERIMENT**

STS-87

November 19 — December 5, 1997

KIEV
AKADEMPERIODIKA
2007

Є. КОРДЮМ, Д. ЧЕПМЕН

РОСЛИНИ В КОСМОСІ

**СПІЛЬНИЙ
УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКИЙ
ЕКСПЕРИМЕНТ**

МІСІЯ-87

19 листопада — 5 грудня 1997 року

КИЇВ
АКАДЕМПЕРІОДИКА
2007

УДК 581.5.54(15)
ББК 28.58
К 70

Кордюм Є.Л., Чепмен Д.К. Рослини в космосі. — К.: Академперіодика, 2007. — 216 с.: іл.

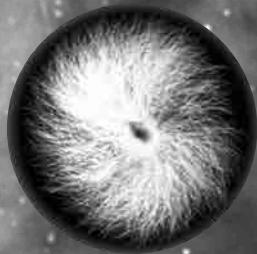
У виданні широко висвітлюються події підготовки та проведення Спільного Українсько-Американського Експерименту, який відбувся на борту космічного корабля Колумбія під час 87-ї місії (19 листопада — 5 грудня 1997 р.). Видання має науково-довідковий характер та ґрунтується на офіційних документах, матеріалах робочих нарад та публікацій в Наукових записках, які періодично друкувалися протягом трьох років, 1996—1998. Численні фотографії демонструють об'єкти Спільного Українсько-Американського Експерименту на орбіті та в наземному контролі, його учасників в Космічному центрі ім. Кеннеді та в Києві під час роботи та відпочинку. Видіння становитиме інтерес для широкого кола читачів, включаючи спеціалістів в різних галузях біології.

The events of preparing and conducting the Collaborative Ukrainian Experiment, which has been performed on board the space shuttle Columbia during STS-87 (November 19 — December 5, 1997), are widely covered in this edition. In character, the edition is scientific-reference and it is grounded on the official documents, materials of working meetings, and publications in Science Milestones that was periodical during three years, 1996—1998. Numerous photos demonstrate the objects of the Collaborative Ukrainian Experiment on orbit and in the ground control, and its participants in the Kennedy Space Center and in Kyiv during work and on their time off. The edition will be of interest for a wide range of general readers, including specialists in the different fields of biology.

ISBN 978-966-360-069-7

© Кордюм Є.Л., Чепмен Д.К., 2007
© Академперіодика, 2007

ПЕРЕДМОВА



19 листопада 2007 р. виповнюється 10 років з дня старту космічного корабля Колумбія, на борту якого проведено Спільний Український Експеримент за участю Леоніда Каденюка — першого космонавта-дослідника України як незалежної держави. Основна мета експерименту — дослідити вплив мікрогравітації, що є постійним фактором космічного польоту, на ріст та розвиток рослин та з'ясувати закономірності гравітаційної чутливості автотрофних організмів. Космічному експерименту передувала майже трирічна підготовка в лабораторіях університетів США та Космічному центрі ім. Кеннеді (мис Канаверал, Флорида) та інститутах Національної академії наук України. Було проведено конкурс серед кандидатів в космонавти-дослідники, їх біологічна підготовка в наукових закладах України та США, удосконалення існуючого обладнання, розроблення нового для вирощування рослин та маніпуляцій з ними, пристрої для хімічної фіксації зразків тощо. Учасники експерименту систематично обговорювали теоретичні та практичні питання, які виникали в ході його підготовки, на семінарах на мисі Канаверал, в Києві та Львові, а також за допомогою телемостів, в яких могли одночасно брати участь всі виконавці. За ініціативою НАСА проведено два перевірочних тести стану підготовки експерименту до космічного польоту та його репетиції в Космічному центрі ім. Кеннеді

за участю всіх виконавців у вересні — жовтні 1996 р. та квітні — травні 1997 р. Вчені з України та США створили єдину дружню команду, яка працювала в одному ритмі. Проведено широку освітню програму для молоді двох країн.

Перебуваючи в Космічному центрі ім. Кеннеді під час старту шатла Колумбія, я добре відчув цю незабутню атмосферу — атмосферу доброзичливості та високої відповідальності, впевненості та хвилювання. Тому я вітаю науково-довідкове видання, яке документально відтворює хроніку подій підготовки та проведення Спільного Українського Експерименту як добрий приклад плідної співпраці вчених біологів України та США у набутті нових знань, бажаю їм подальших творчих успіхів у дослідженнях в галузі космічної біології, ефективного втілення фундаментальних даних у розробку контрольованих екологічних систем життєзабезпечення космонавтів, створення яких нагально вимагають плани майбутніх тривалих космічних польотів, відвідання Марса та інших планет.

Генеральний
директор НКАУ
Ю.С. АЛЕКСЕЄВ



Перші польоти людини в космос показали не лише можливість її існування в космічному польоті, але і плідно працювати та успішно вирішувати все складніші та складніші завдання на благо людства та світової науки.

Однією з найважливіших складових загального комплексу досліджень космосу є космічна біологія, виникнення якої обумовлене науковим і технічним прогресом та безпосередньо пов'язане з проникненням людини в космос. Значення її важко переоцінити, особливо для здійснення довготривалих пілотованих космічних польотів та відвідання Марса і інших планет.

Від початку космічної ери українські та американські біологи брали активну участь у розробці та створенні теоретичної і експериментальної бази для проведення реальних космічних експериментів.

Мені пощастило бути учасником 87-ї місії на борту космічного шатла Колумбія, політ якого тривав від 19 листопада до 5 грудня, виконуючи прямі функції космонавта-дослідника в проведенні Спільного Українського Експерименту. Для мене, як космонавта-дослідника це була надзвичайно цікава робота, важливість якої я чудово розумів. До того ж це був перший політ представника незалежної України. Я відчував велику відповідальність перед українськими та американськими вченими, які брали участь в моїй підготовці до польоту.

Хочу також відмітити, що міцні фундаментальні знання в області космічної біології я отримав в радянському Центрі підготовки космонавтів ім. Ю.О. Гагаріна. Але я надзвичайно вдячний українським та американським вченим, які приклали великі зусилля для моєї особистої підготовки до проведення самого експерименту. Особливу подяку та шану я відчуваю до керівника групи наших вчених Єлизавети Львівни Кордюм, з науковою діяльністю якої я познайомився ще в Зоряному містечку. Саме на її наукових роботах в галузі космічної біології нас, майбутніх космонавтів, вчили мудрості цієї науки. Тому для мене є великою честью бути учнем самої Є.Л. Кордюм, яка наполегливо і щиро ділилася зі мною своїми знаннями та досвідом.

Виконання експериментів в стані невагомості мало свої особливості. Їх, на жаль, не завжди можливо передбачити в земних умовах. Запилення квітів, хімічна фіксація рослин, підтримання температурного режиму в приладі для вирощування рослин, робота з морозильною камерою та інше інколи вимагали прийняття додаткових неординарних рішень безпосередньо в процесі виконання цих процедур. Хочу особливо підкреслити, що прийняттю відповідних рішень та реалізації програми в цілому безумовно сприяли дружні відносини, які встановилися між членами екіпажу корабля, їх готовність завжди

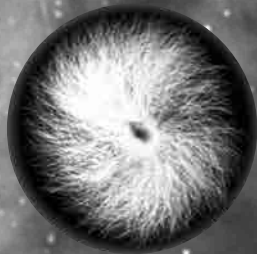
допомогти один одному у виконанні складних завдань на орбіті.

Вчені Сполучених Штатів та України об'єдналися в єдину дружню команду, яка працювала виключно відмінно, завдяки чому Спільний Український Експеримент був виконаний успішно.

Космонавт-дослідник
Л.К. КАДЕНЮК



ВСТУП



19 листопада 2007 року виповнюється 10 років з дня старту космічного корабля Колумбія, 87-а місія. Протягом цієї місії був виконаний Спільний українсько-американський експеримент (СУАЕ) за участю першого космонавта незалежної України Леоніда Каденюка. Підготовка до проведення СУАЕ тривала три роки, і його успішне здійснення відбулося завдяки активній діяльності НАСА, Національного космічного агентства України, Національної академії наук України, університетів США та Космічного центру ім. Кеннеді. Час спливає дуже швидко, щось неминуче забувається, втрачається гострота почуттів, наука іде вперед з її новими проблемами та підходами до їх рішень. Але СУАЕ залишається видатною подією у розвитку космічної біології в Україні в 90-ті роки ХХ століття та міжнародної співпраці. Тому хотілося пригадати всі події та дружню атмосферу трьох років підготовки та проведення СУАЕ. Це науково-довідкове видання присвячене саме тим подіям та базується на офіційних документах, матеріалах робочих нарад, публікацій в Наукових записках тощо. Численні фото-знімки демонструють об'єкти експерименту на орбіті та в наземному контролі, представляють учасників СУАЕ в Космічному центрі ім. Кеннеді та в Києві під час роботи та відпочинку. Сподіваємося, що видання буде цікавим широкому колу читачів, включаючи спеціалістів в різних галузях біології.

Кожна подія має своє життя: минуле, сьогодення та майбутнє. Такою подією став українсько-американський космічний експеримент.

Перш за все, хотілося б підкреслити, що завдання СУАЕ визначили, виходячи з проблем космічної біології, яка є однією з найважливіших в системі космічних наук. Дослідження в галузі космічної біології спрямовані на пізнання біологічних ефектів факторів космічного польоту, переважно мікрогравітації та космічної галактичної радіації, з якими живі системи не зустрічаються на Землі, і таким чином надають можливість одержувати принципово нову наукову інформацію. Виникнення космічної біології обумовлене науковим та технічним прогресом і безпосередньо пов'язане з проникненням людини в космічний простір. Надбання космічної біології також необхідні та надзвичайно важливі для з'ясування фундаментальних проблем сучасної біології, вони є базою для розробки космічних клітинних біотехнологій та контрольованих екологічних систем життєзабезпечення, значення яких різко зросло у зв'язку з планами тривалих пілотованих польотів, експедицій до Місяця та Марса. Створення таких систем і біотехнологій та прогноз їх надійного функціонування неможливі без глибоких знань ступеня та спрямованості впливу факторів космічного польоту на живі системи.

Дослідження в галузі космічної біології є експериментальною основою гравітаційної біології, яка виникла у 50-ті роки ХХ ст. Її метою стало з'ясування ролі гравітації як кардинального постійного геофізичного фактора у функціонуванні біосфери Землі. В космічну еру біологи одержали унікальну можливість вивчати вплив мікрогравітації на просторову орієнтацію, фізіологію та біохімію організмів, морфогенез, репродукцію та диференціювання клітин, тобто процеси, які лежать в основі росту та розвитку живих істот. У дослідженнях біологічних ефектів мікрогравітації об'єктами космічної біології є організми, різні за складністю організації, — бактерії, найпростіші, гриби, нижчі та вищі рослини, комахи, амфібії, риби, птахи та ссавці *in vivo* та *in vitro*. Крім експериментів у космічному польоті, проводяться наземні дослідження, які в тій чи іншій мірі моделюють вплив окремих факторів космічного польоту на біологічні системи.

Сьогодні розрізняють чотири основних напрями космічної біології:

Гравітаційна біологія. З'ясування біологічної ролі гравітації на підставі досліджень впливу зміненої гравітації — реальної мікрогравітації в космічному польоті та умовах, які частково відтворюють біологічні ефекти реальної мікрогравітації в лабораторії (кліностатування, гіпокінезія, водна імерсія), а також гіпергравітації, яка створюється за допомогою центрифуг, на різні

живі істоти, культури органів, тканин та клітин.

Радіаційна біологія. Вивчення реакцій живих істот на дію космічної галактичної радіації, особливо важких заряджених часток з енергією мега- та гіга-електрон-вольт, та продуктів ядерного розпаду в космічному польоті, а також у наземних експериментах на ядерних прискорювачах, розробка методів дозиметрії, визначення ступеня радіаційного ризику для космонавтів у пілотованих космічних польотах, діапазону пошкоджень генетичного апарату клітин та можливості їх репарації, пошук ефективних протекторів та захисних засобів.

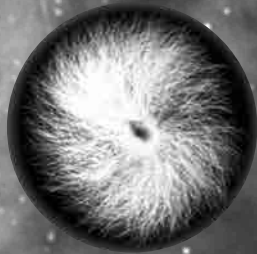
Планетарна біологія та пребіотичний синтез. З'ясування можливих хімічних шляхів походження життя та пошук позаземних форм життя на інших планетах сонячної системи, включаючи розумних істот у всесвіті, а також хімічних попередників життя в космосі. Експериментальні перевірки концепції панспермії — занесення життя на Землю з космосу.

Природні та штучні екосистеми. Дослідження механізмів функціонування й динаміки природних екосистем на Землі та штучних екосистем, необхідних для життєзабезпечення космонавтів у космічних польотах та під час перебування на Місяці та Марсі. Розробка теоретичних аспектів і методів стабілізації та контролю штучних екосистем, технології їх окремих ланок з метою

забезпечення інтенсивного росту рослин, грибів та тварин, які плануються до включення в раціон космонавтів, обробки продуктів, що одержуватимуться для подальшого використання, та утилізації відходів у таких замкнених системах для реалізації біологічної трансформації в космічному польоті на основі біотехнологічних принципів.

ВИСЛОВЛЮЄМО ГЛИБОКУ ПОДЯКУ ПРЕЗИДЕНТУ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, БОРИСУ ПАТОНУ ЗА ПОСТІЙНУ ПІДТРИМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ З КОСМІЧНОЇ БІОЛОГІЇ В УКРАЇНІ, ЩИРО ВДЯЧНИ ЗАСТУПНИКУ ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА НАЦІОНАЛЬНОГО КОСМІЧНОГО АГЕНТСТВА УКРАЇНИ ЕДУАРДУ КУЗНЕЦОВУ, ВИКОНАВЧОМУ ДИРЕКТОРУ АМЕРИКАНСЬКОГО ТОВАРИСТВА ГРАВІТАЦІЙНОЇ ТА КОСМІЧНОЇ БІОЛОГІЇ ТОМУ СКОТТУ ТА ВЧЕНОМУ СЕКРЕТАРЮ РАДИ З КОСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ ІРИНІ ВАВІЛОВІЙ ЗА АКТИВНУ ДОПОМОГУ У ПІДГОТОВЦІ ЦЬОГО НАУКОВО-ДОВІДКОВОГО ВИДАННЯ ТА ВСІМ КОЛЕГАМ І ДРУЗЬЯМ ЗА НАДАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ТА ДОБРОЗИЧЛИВІСТЬ.

КОСМІЧНА БІОЛОГІЯ В УКРАЇНІ



В Україні космічна біологія як наука сформувалася на початку 1960-х років і за своєю методологією, в основному, присвячена питанням гравітаційної біології. На початку 1970-х років в Інституті мікробіології та вірусології Академії наук УРСР була розроблена теоретична база наступних космічних біологічних експериментів з організмами, які під час польоту мають знаходитися в активному фізіологічному стані. Було обгрунтоване положення, що саме такий підхід надасть змогу відповісти на найбільш жагучі питання, які стояли перед космічною біологією в часи, коли вже було зрозумілим, що в найближчому майбутньому космос стане сферою господарської та наукової діяльності людини. Потрібно було з'ясувати, як впливатиме на життєдіяльність організмів їх тривале перебування поза Землею, чи відбуватиметься адаптація до умов космічного польоту упродовж життя одного організму та на рівні поколінь, які наслідки можливі. Як показало життя, такий підхід повністю виправдав себе. Звичайно, дослідженням організмів, що потім росли і розвивалися в умовах космічного польоту, передувала напружена робота з удосконалення методичних підходів та технічного обладнання космічних експериментів. Були створені спеціальні культиватори: ІФС (інокуляційно-фіксуєча система), "Ріст", "Світлоблок-1", "Біоконтейнер" та ін., фіксуєчі пристрої, розроблена відповідна

система аналізів експериментального матеріалу.

Паралельно з космічними експериментами, в Інституті ботаніки ім. М.Г. Холодного з 1978 р. ведуться лабораторні роботи з моделювання дії окремих факторів польоту — вібрації та прискорення в режимі підйому космічного апарата (спільно з Інститутом загальної генетики РАН), змін напруженості електромагнітних полів (спільно з Об'єднаним інститутом ядерних досліджень, м. Дубна, та Фізико-технічним інститутом низьких температур НАН України), мікрогравітації (використовуються горизонтальні кліностації, які частково моделюють біологічні ефекти мікрогравітації, обумовлені відсутністю вектора гравітації, оскільки обертання організмів на кліностаціях не дає їм змоги сприймати гравітаційний стимул; проте обертання відбувається в гравітаційному полі). Вплив важкої компоненти космічної галактичної радіації імітували шляхом опромінення біологічних об'єктів потоками окремих важких іонів певної енергії на ядерних прискорювачах (спільно з Об'єднаним інститутом ядерних досліджень, м. Дубна, та Інститутом ядерних досліджень НАН України).

З 1974 р. експерименти з бактеріями, водоростями та вищими рослинами, культурами органів, тканин і клітин, запропоновані та підготовлені в наукових установах Національної академії наук України (Инсти-



тут молекулярної біології і генетики, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного, Центральний ботанічний сад ім. М.М. Гришка, Дослідне виробництво Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця, Дослідно-конструкторське виробництво медико-біологічного приладобудування Інституту експериментальної патології, онкології та радіобіології ім. Р.Є. Кавецького), здійснювалися на біосупутниках "Космос-573, -654, -672, -1887", "Біон-9, -10, -11" (спільно з Інститутом медико-біологічних проблем, м. Москва), на космічних кораблях "Союз-12, -13, -16, -22" та орбітальних станціях "Салют" і "Мир" (спільно з НВО "Енергія", м. Москва) за національною та міжнародними програмами (радянсько-американська "Союз-Аполлон", радянсько-французька "Цитос", радянсько-чехословацька "Хлорела", радянсько-в'єтнамська "Азола"). З Європейським космічним агентством та Росією проведені експерименти "Протопласт" (Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України), "Кістки" та "Тритон" (Інститут зоології ім. І.І. Шмальгаузена НАН України), з Росією та США — експеримент "Протонема" (Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного та Інститут екології Карпат НАН України).

Хронологія польотних експериментів у галузі космічної біології така:

1974—1978 pp. — серія експериментів з бактерією протей звичайний (*Proteus vulgaris*): досліджено швидкість росту, рухливість, хемотаксис, будову клітин і актив-

ність ферментів, проникність мембран тощо за різних умов вирощування — аеробних, анаеробних та факультативно анаеробних.

1975—1992 pp. — серія експериментів з одноклітинною зеленою водорістю хлорела (*Chlorella vulgaris* — автотрофний штам ЛАРГ-1, *Ch. pyrenoidosa* — гетеротрофний штам g-1-II): досліджено швидкість росту, репродукцію, будову та функціональний стан клітин, вміст полісахаридів та активність ферментів гідролізу крохмалю, баланс кальцію і ураження бактеріями за різних режимів вирощування — на напіврідкому та твердою живильних середовищах в умовах освітлення та темноти, в трикомпонентній водній системі (водорості, риби, бактерії) тощо;

1980 p. — експеримент з протоневою моху фунарія вологомірна (*Funaria hygrometrica*): досліджено структурно-функціональну організацію зелених клітин протонеми, які здійснюють фотосинтез; експеримент з симбіотичною водною папороттю азолла (*Azolla pinnata*): досліджено будову клітин папороті, азотфіксуючої синьозеленої водорості анабена (*Anabaena azollae*) та асоціативних бактерій, а також взаємовідношення між еукаріотичними й прокаріотичними організмами;

1978—1991 pp. — серія експериментів з покритонасінними рослинами: горохом (*Pisum sativum*), твердою пшеницею (*Triticum*

durum), арабідопсисом (*Arabidopsis thaliana*), бальзаміном (*Irrpatis balsamina*), огірками (*Cucumis sativus*), спіроделою (*Spirodela polyrrhiza*); досліджено ріст і розвиток паростків, структурно-функціональну організацію клітин вегетативних органів, особливості будови гравірецепторних клітин кореневого чохла, баланс кальцію, фізико-хімічні властивості цитоплазматичної мембрани, інтенсивність перекисного окислення ліпідів тощо;

1981 p. — уперше в світі в космічному польоті зацвіли рослини арабідопсису (однорічна рослина з коротким циклом розвитку, від насіння до насіння проходить до 40—45 діб), які були доставлені на орбіту у фазі двох сім'ядольних листків; досліджено будову їх генеративних органів;

1980—1983, 1989 pp. — серія експериментів з епіфітними та наземними орхідеями: досліджено ріст, розвиток, анатомічну будову листків, вміст фітогормонів та активність ферментів;

1987—1993 pp. — серія експериментів з культурами тканин гаглопапусу (*Haploppappus gracilis*) і гороху: досліджено ростові та ультраструктурні показники, інтенсивність перекисного окислення ліпідів тощо;

1989 p. — експерименти з культурами протопластів моркви (*Daucus salivus*) та рапса (*Brassica napus*): досліджено здатність протопластів регенерувати клітинну оболонку та утворювати мікрокалус в умовах

космічного польоту, склад клітинної оболонки та структурно-функціональну організацію клітин мікрокалусів;

1989—1991 рр. — експерименти з культурою тканин резушки: досліджено здатність до морфогенезу в калусній культурі в умовах космічного польоту та особливості диференціювання гравірецепторного апарата коренів, які утворилися *de novo* за умов мікрогравітації;

1991 р. — експеримент з культурою органів картоплі (*Solanum tuberosum*): досліджено здатність до утворення мінібульб та ультраструктуру запасуючої крохмаленосної паренхіми;

1996 р. — експеримент з протонеомою мохів потія проміжна (*Pottia intermedia*) та цератодон пурпурний (*Ceratodon purpureus*): досліджено просторову орієнтацію гравічутливої протонеми за умов мікрогравітації та структурно-функціональну організацію апікальної клітини, яка одночасно є місцем сприйняття гравітаційного стимулу та здійснення гравітропічної реакції; отримано біопсійний матеріал з кісток мавп та кінцівок тритонів після закінчення експериментів з цими тваринами для досліджень закономірностей остеогенезу за умов мікрогравітації;

1997 р. — спільний українсько-американський експеримент.

У результаті комплексних досліджень бактерій та різних рослинних об'єктів з

використанням цитологічних, біохімічних, біофізичних, молекулярно-біологічних та інших методів було встановлено, що: 1) *головними постійно діючими факторами космічного польоту є невагомість (мікрогравітація) та космічна галактична радіація.* Вплив радіаційного фактора у близькому космосі під захистом магнітосфери Землі є менш небезпечним, ніж у відкритому космосі, де його негативна дія на живі системи різко посилюється і стає для них смертельно загрозовою; 2) *нижчі та вищі рослини ростуть та розвиваються за умов мікрогравітації певний час; 3) морфогенез, поділ та диференціювання клітин відбуваються в умовах мікрогравітації в цей проміжок часу без істотних відхилень від норми; 4) мікрогравітація істотно впливає на клітинний метаболізм; його зміни відображаються у перестройках ультраструктури клітин, тобто клітина є гравічутливою; 5) внутрішньоклітинний баланс кальцію змінюється за умов мікрогравітації; 6) зміни метаболізму за умов мікрогравітації ведуть до прискорення диференціювання та старіння клітин; 7) мікрогравітація належить до таких зовнішніх факторів, вплив яких не перешкоджає розвитку адаптивних реакцій на клітинному та організменному рівнях у межах фізіологічної відповіді, тобто в рамках генетично детермінованої програми онтогенезу.* Вплив мікрогравітації та кліностатування посилюється із збільшенням тривалості

їх дії, його прояв ускладнюється у багатоклітинних організмів порівняно з одноклітинними.

На основі аналізу параметрів росту у бактерій та одноклітинних зелених водоростей за різних режимів вирощування в умовах космічного польоту порівняно з наземним контролем дозволили сформулювати *загальні закономірності поведінки одноклітинних організмів в орбітальному польоті: 1) протягом певного часу ріст, розвиток та інтенсивність обміну речовин відбуваються в межах адаптаційної відповіді живого; 2) умови польоту посилюють тенденцію, закладену в момент організації експерименту.* Так, в культивуваних камерах за оптимальних умов ріст мікроорганізмів в орбітальному польоті прискорюється порівняно з наземним контролем, за несприятливих — уповільнюється сильніше, ніж в лабораторії. Встановлені закономірності мають також конкретне прикладне значення, допомагаючи в розрахунках при створенні контрольованих екологічних систем життєзабезпечення в космічних апаратах, оскільки однією з їх основних ланок є мікроорганізми, які беруть участь у здійсненні кругообігу речовин у таких системах. У цих експериментах для аналізу клітин бактерій та водоростей вперше у світовій космічній біології українські вчені застосували електронно-мікроскопічний метод, який дає змогу вивчати будову клітин, збільше-



них у десятки тисяч разів, і тим самим наблизитися до оцінки функціонального стану клітинних органел і, отже, побічно судити про інтенсивність та спрямованість клітинного метаболізму. Тому тонка структура клітини та її зміни під дією факторів космічного польоту виявилися надійними індикаторами оцінки ступеня впливу факторів космічного польоту на функціонування клітин організмів, які знаходилися в активному фізіологічному стані під час польоту. До того ж електронно-мікроскопічний метод не потребує великої кількості експериментального матеріалу, яка є обмеженою в космічних експериментах.

Було встановлено, що значний вплив мікрогравітації на клітинний метаболізм не залежить від таксономічної і тканинної належності, обґрунтовано фундаментальну концепцію відносно того, що клітини, які проліферують та активно метаболізують, є найбільш гравічутливими. *Одним з найбільш цікавих та важливих ефектів мікрогравітації на клітинному рівні є зміни у внутрішньоклітинному балансі кальцію, які полягають у перерозподілі вільних іонів кальцію в цитозолі, органелах та клітинній оболонці, а також у збільшенні та, значно рідше, — зменшенні іонів у цитозолі.* Ці дані відкривають нові перспективи для майбутніх досліджень кальцій- та гравізалейних процесів за умов мікрогравітації і, таким чином, впливу гравітації на клітинний метаболізм.

На основі аналізу структурно-функціональних змін органел меристематичних клітин, таких, що ростуть розтяганням та диференційованих в умовах мікрогравітації та кліностагування, встановлені такі закономірності їх прояву:

1) гетерогенність органел у клітинній популяції щодо ступеня перебудов (відображає відмінності в стадіях біогенезу та функціональному навантаженні органел);

2) сумісність просторової послідовності у біогенезі в процесах клітинного росту та диференціювання;

3) підвищення реактивності при зміні функціонального навантаження;

4) збільшення активності при втраті клітиною специфічних функцій (заміщення функцій).

Сформульовані закономірності прояву структурно-функціональних змін органел у процесах росту, диференціювання та життєдіяльності клітин незалежно від їх видової і тканинної належності при дії зміненої гравітації мають загальний характер, але в той же час можуть нести інформацію щодо дис-, гіпер- або гіпофункції окремих типів клітин, тканин та органів у цілому.

Показано, що зміни метаболізму клітин в умовах мікрогравітації прискорюють 1) ріст та диференціювання меристематичних клітин та клітин, що ростуть розтяганням; 2) старіння диференційованих клітин і, отже, скорочують діяльність меристем, а в ряді

випадків — онтогенез організмів. Обґрунтовано положення про клітинні механізми адаптації до зміненої гравітації, яка здійснюється за принципом саморегуляції систем, проте підтримання ряду найважливіших показників клітинного гомеостазу в межах норми відбувається на фоні прискореного старіння. Стратегічне значення в первинній адаптації клітин до дії цього фактора мають підтримання текучості ліпідного бішару цитоплазматичної мембрани в певних межах та активація антиоксидантних систем. Тривала (вторинна) адаптація клітин до умов мікрогравітації забезпечується перебудовами клітинного метаболізму (зокрема, його інтенсифікацією), які ґрунтуються на змінах функціонального навантаження клітинних органел та активності ферментів.

На підставі аналізу експериментальних даних висунуто *гіпотезу гравітаційної декомпенсації, відповідно до якої цитоплазматична мембрана є первинним місцем дії мікрогравітації в умовах зменшення або відсутності гідростатичного тиску.* Зміна у поверхневому натягу цитоплазматичної мембрани може відігравати роль індуктора перебудови її фізико-хімічних властивостей. Це спричинює зміни у проникності мембрани, функціонуванні мембранних рецепторів, активності мембранозв'язаних ферментів тощо, та своєю чергою, перебудови метаболізму та їх втілення у фізіологічні відповіді.

Накопичено достатньо повну інформацію про диференціювання та структурно-функціональну організацію клітин кореневого чохла — гравірецепторного апарата кореня у відсутності гравітації. Показано, що за умов мікрогравітації гравірецепторний апарат інтактних зародкових коренів формується, але не функціонує у відсутності гравітаційного вектора. Неможливість здійснення гравітропічної реакції за умов мікрогравітації компенсується фототропізмом, тобто спрямоване світло забезпечує в цих умовах досить нормальне просторове розташування органів рослин. Висунуте положення є одним з базових у створенні технологій космічного рослинництва та відкриває нові можливості для вивчення механізмів окремих тропічних реакцій рослин, зокрема ролі фітохрому у фототропізмі, у чистому вигляді, тобто за відсутності гравітації (Kordyum, 1997 a, b, 2001, 2002, 2004, Kordyum et al., 1994).

Як засвідчує аналіз стану та напрямків досліджень у галузі світової космічної біології, Україна стала одним з основних центрів проведення комплексних досліджень біології клітини в умовах космічного польоту на сучасному науково-методичному рівні. Українським вченим належить пріоритет у відкритті гравічутливості рослинної клітини та встановленні загальних закономірностей біологічних ефектів мікрогравітації — постійно діючого фактора космічного

польоту на клітинному та організмовому рівнях.

З 1993 р. фундаментальні та прикладні дослідження в галузі космічної та гравітаційної біології в Україні є частиною Національної космічної програми України, фінансуються Національним космічним агентством України та виконуються в інститутах Національної академії наук України, Академії медичних наук України, університетах та інших закладах. Перспективними напрямками цих досліджень були визначені такі, в яких здобутки українських вчених визнані світовою науковою спільнотою та розвиток яких забезпечується науково-технічним потенціалом України. Сьогодні пріоритети в цій галузі в Україні спрямовані на: 1) з'ясування клітинних, субклітинних та молекулярних механізмів біологічних ефектів мікрогравітації, а, отже, механізмів гравічутливості клітини та створення космічних біотехнологій для медицини й сільського господарства, а також екологічного моніторингу з використанням унікальних можливостей мікрогравітації, 2) розробку концепцій щодо росту, розвитку, репродукції та стійкості організмів в космічному польоті як основи створення технологій для контрольованих екологічних систем життєзабезпечення космонавтів.

Фундаментальні дослідження:

✦ клітинна біологія в умовах мікрогравітації;

✦ роль іонів кальцію та цитоскелету в біологічних ефектах мікрогравітації;

✦ біологія розвитку в умовах мікрогравітації;

✦ тривалість життя та старіння в умовах зміненої гравітації;

✦ взаємодія між прокариотичними (патогенними, симбіотичними і асоціативними) і еукариотичними організмами і вірусами за умов мікрогравітації, оцінка патогенності бактерій та вірусів за цих умов.

Прикладні напрямки:

✦ розробка космічних біотехнологій та удосконалення методів електрофорезу в умовах мікрогравітації для одержання препаратів біологічно активних речовин та гомогенних клітинних популяцій для фундаментальних досліджень, медицини та сільського господарства;

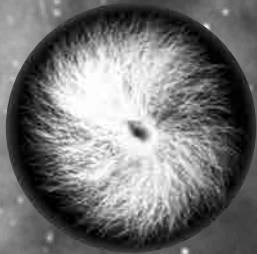
✦ розробка технологій космічного рослинництва та утилізації відходів для контрольованих екологічних систем життєзабезпечення у тривалих космічних польотах;

✦ використання експрес-методів оцінки стану організмів у космічному польоті для екологічного та радіобіологічного моніторингу біосфери;

✦ удосконалення існуючого та створення нового обладнання для біологічних, біотехнологічних та біомедичних експериментів.



СПІЛЬНИЙ УКРАЇНСЬКО- АМЕРИКАНСЬКИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ



США має свою історію у дипломатичних відносинах між Сполученими Штатами та республіками колишнього Радянського Союзу, спрямованих на підтримку їх переходу до ринкової економіки, роззброєння та демонтажу ядерних ракет. Кооперація в галузі космічної науки розглядалася як переконливий початок міжнаціонального діалогу, який мав допомогти в досягненні таких цілей.

Нижче наводимо хронологію подій, які передували створенню та реалізації спільного проекту.

1994

✦ Підписання тристоронньої угоди (США, Росія та Україна), *січень*.

✦ Обговорення співпраці між США та Україною в галузі досліджень космосу.

✦ НАСА направляє в Україну делегацію для вивчення можливостей кооперації. Ця делегація не включала фахівців з космічної біології, хоча проф. Кордюм представляла цей напрям досліджень в Україні, *березень*.

✦ Підрозділ UL збирає групу космічних біологів у Вашингтоні для обговорення, *вересень*.

Українська делегація, очолювана академіком НАН України Юрієм Кундієвим, включала академіка НАН України Олександра

Новокатикьяна, докторів біологічних наук Єлизавету Кордюм, Віталія Кордюма, Ореста Демківа, Наталью Дьяченко, Олену Недуху, Сергія Гуляра, канд. фіз.-мат. наук Олександра Кондрачука, панів Анатолія Шевко та Віталія Гладіліна. Делегація США, очолювана доктором Джоан Вернікос, включала докторів Лоуренса Бівера, Тома Скотта, Мері Масгрейв та Джеймса Гайкему. Протягом семінару односторінкові спільні пропозиції в галузі космічних наук про життя — від фізіології людини до обчислювальної біології, були складені та направлені до штаб-квартири НАСА, *вересень*.

✦ Спільна заява щодо майбутнього співробітництва між США та Україною спрямовувала НАСА та НАУ для визначення потенційних експериментів та корисного вантажу, які могли б бути кваліфіковані для польоту та створили б можливість для українського спеціаліста з корисного вантажу здійснити політ на космічному кораблі багаторазового використання серії Шатл, *22 листопада*.

Директиву Білого Дому відділ біологічних і біомедичних наук та прикладних досліджень вважав сприятливою можливістю для розвитку космічної біології рослин. За ініціативою цього відділу, координаторами якого були Том Скотт та Лоуренс Бівер, зібрано компетентну команду з питань космічної біології рослин, яка підготувала попередні пропозиції для передачі до підрозділу

I. Ця ініціатива виявилася найуспішнішою серед пропозицій інших відділів НАСА, які координували науки про космічне матеріалознавство, близький космос тощо.

1995

✦ Директор НАСА пан Даніель Голдін звертається до підрозділу U з проханням рекомендувати галузь науки для спільного експерименту. Том Скотт рекомендує біологію рослин, базуючись на даних експертизи досягнень космічної біології рослин в Національній академії наук України та підготовлених раніше спільних пропозиціях, *січень*.

✦ Запит від підрозділу I НАСА до підрозділу UL щодо визначення можливого спільного корисного вантажу з космічної біології рослин. Підрозділ I сподівається, що "експерименти з біології рослин створюють найбільший потенціал для українського корисного вантажу, який буде визначений для польоту на Шатлі і вимагатиме участі українського спеціаліста з корисного вантажу для проведення експерименту, *лютий*.

✦ Обговорення підготовленої пропозиції експериментів з біології рослин між США та Україною. Лоуренс Бівер надсилає поліпшений проект пропозицій для корисного

вантажу українського експерименту та супроводжуючий лист Єлизаветі Кордюм як координатора з космічної біології НКАУ, *8 березня*. Є. Кордюм схвалює пропозиції, *27 березня*.

✦ Пропозиція надсилається до підрозділу I НАСА, *березень*.

✦ Двосторінковий план підготовлений для Білого Дому, *березень*.

✦ Друга делегація, яка включає біологів, направлена до України, *квітень*.

✦ Схвалення Білим Домом плану експериментів з рослинами, *квітень*.

✦ Об'єднана колегія директорів НАСА та НКАУ, обговорення українського корисного вантажу, *квітень*.

✦ Президент Клінтон, відвідуючи Україну, оголошує про підготовку польоту українського космонавта у складі 87-ї місії шатлів, *травень*.

✦ Дозвіл підрозділу UL на продовження підготовки корисного вантажу, *жовтень*.

✦ Перше спільне засідання американських і українських дослідників. Зустріч у Космічному центрі ім. Кеннеді, *листопад*.

I РОБОТА ЗАКИПІЛА

Попередній досвід участі у підготовці та проведенні космічних біологічних експериментів та наявність Української програми з

космічної біології дозволили Є. Кордюм у січні 1995 р. передати в НКАУ список із 15 експериментів та їх короткий опис (1—2 стор.), який включав назву експерименту, прізвища головних дослідників, цілі, завдання та методи досліджень, очікувані результати, космічне обладнання для проведення експерименту та маніпуляції з об'єктами протягом польоту. У лютому з США одержано відповідь про те, що запропоновані експерименти після експертизи розділено на три групи: 1) найцікавіші, 2) менш цікаві, 3) такі, що наразі не цікавлять НАСА. Першу групу з 9-ти експериментів обрано НАСА для подальшого об'єднання з пропозиціями від США та спільної роботи.

За вимогами НАСА було необхідно приготувати детальні описи кожного експерименту першої групи (15—20 стор.) та автобіографічні довідки (Curriculum Vitae) всіх головних дослідників. Це був тиждень найінтенсивнішої роботи у лютому 1995 р. Відповідальна особа від НАСА Л. Бівер телефонував Є. Кордюм, починаючи з 9-ї години за київським часом, інколи по кілька разів на день. Українська сторона вчасно підготувала пропозиції обсягом більше 200 сторінок і надіслала їх факсом до НАСА. 12 березня 1995 р. Є. Кордюм одержала доопрацьовані чернетки пропозицій для українського корисного вантажу/експерименту від Л. Бівера та супроводжувальний лист.

Березень 8, 1995

Кому: Єлизаветі Кордюм, Українська академія наук та координатору космічної біології для НКАУ

Від кого: Ларрі Бівера, координатора операції з космічної біології та медицини та прикладних завдань з Україною

Предмет: Поліпшений попередній план пропозицій для українського корисного вантажу/експерименту на Шатлі НАСА.

Попередній план, що додається, об'єднує Ваші пропозиції від 2 березня 1995 р. та основні переробки партнерів із США, яких Ви пропонували. Я передивився ці пропозиції разом з д-ром Скоттом — керівником програми з космічної біології (включаючи біологію рослин) НАСА та д-ром Авернером — керівником програми НАСА щодо використання рослин для системи життєзабезпечення у космічних польотах. Вони були вражені науковою якістю наших пропозицій. Я також обговорив пропозиції з доктором Джоан Вернікос — директором, та доктором Франком Сульцманом — директором Дослідницького підрозділу Управління з космічної біології та медицини та прикладних завдань Штаб-квартири НАСА, вони задоволені нашими зусиллями.

Будь ласка, передивіться пропозиції та вишліть мені поправки до 13 березня, якщо Ви зможете. Я сподіваюсь, що Ви задоволені тим, як просуваються наші спільні справи.

7-го березня 1995 р. д-р Вернікос офіційно запропонувала Міжнародному відділу НАСА для місії з українським спеціалістом з корисного вантажу одне або два з наших завдань для Українського експерименту/корисного вантажу — якщо є угода між НКАУ та НАСА щодо польоту у цій місії. Вона надіслала таку ж пропозицію Вам, я її відправив по факсу сьогодні. Я сподіваюся, що НАСА офіційно повідомить д-ра Жалко-Титаренко, діючого генерального директора Національного космічного агентства України, у письмовій формі про запропонований НАСА Український корисний вантаж/експеримент для українського узгодження/угоди вже на цьому тижні. Я думаю, що наша пропозиція до д-ра Жалко-Титаренко буде єдиною.

Якщо д-р Жалко-Титаренко схвально поставиться до нашої пропозиції, нам необхідно буде відібрати завдання до 17 березня 1995 р., щоб НАСА та Національне космічне агентство України спільно повідомили Білий Дім про спільно рекомендований Український корисний вантаж/експеримент до 31 березня 1995 р. Таким чином, є критичним одержання мною ваших коментарів, щоб ми могли досягнути угоди між українськими дослідниками та їх партнерами із США щодо вмісту окремих завдань на початку наступного тижня.

Будь ласка, повідомте мене про одержання цих матеріалів та продовження визначення експерименту по факсу.

Будь ласка, надсилайте мені інформацію по факсу (202) 479-2613 або телефонуйте мені на роботу (202) 479-2609 або додому (703) 759-5948, якщо Вам буде потрібна моя допомога.

Лоуренс БІВЕР



Під час перебування в Канзаському університеті після перегляду пропозицій Єлизавета Кордюм обговорила свої думки з Джеймсом Гайкемою та з цього приводу 27 березня надіслала листа Лоуренсу Біверу.

27 березня, 1995 р.

Дорогий Ларрі,
Мені дуже прикро, що я не змогла зустрітись з вами в Канзасі. Я сподіваюся на Ваше найшвидше одужання.

Я уважно передивилася пропозиції та впевнене в їх якості. Я згодна з модифікаціями та змінами, зробленими після мого останнього листа. На мою думку, залишається лише декілька питань.

Я вважаю доцільним використання в експерименті з рослинами гороху (основні завдання цього експерименту плануються з цим об'єктом, бо для їх виконання потрібні проростки з насіння, яке проростатиме на орбіті), крім того, як порівняння з Brassica

(для експерименту по запиленню та заплідненню необхідні дорослі рослини, рослини з пуп'янками, тому для цього експерименту на орбіту надсилатимуться рослини з пуп'янками). Рослини Brassica дають багато пуп'янків та звичайно квітів, тому я думаю, що для цього експерименту декілька ростових камер буде достатньо, оскільки ми матимемо численні квіти для запилення.

Я виправила написання прізвищ українських вчених і зроблю це в їх біографіях, якщо це буде необхідно, коли я отримую їх від Вас.

Я виключила "Утворення бульб" з 5-го контейнера. Але Джим розповів мені, що доктор Тіббетс зацікавився цим експериментом. Дійсно, цей експеримент є простим, проте дуже інформативним. Тому я думаю, що остаточне рішення повинно бути прийнятим Вами та Джимом, оскільки я не знаю, як обстоять справи з доктором Тіббетсом.

Я розумію, що два експерименти (прилад для вирощування рослин та контейнери для біологічних досліджень) будуть проведені на орбіті. Мені б хотілося лише ще раз відмітити, що у всіх вторинних експериментах до первинного експерименту щодо фотосинтетичного апарату планується використання тих же самих експериментальних рослин, всі частини рослин будуть досліджуватися різними методами, тому що ми повинні отримати якомога повнішу інформацію про вплив мікрогравітації на ріст та

розвиток рослин на різних рівнях їх організації в цьому експерименті, який є унікальним за своїми завданнями та можливістю їх реалізації.

Ми обговорили з Джимом наші завдання у запропонованих експериментах, я думаю, що це обговорення було надзвичайно корисним. Я розумію, що другий експеримент в приладі для вирощування рослин не буде включений в ці пропозиції. Джим і я, разом з доктором Ліч, готуватиме пропозицію для наступного строку та сподіваємося на його фінансування.

Я чекаю на нову інформацію від Вас про наш спільний успіх.

З найкращими побажаннями.

Щиро

Єлизавета КОРДЮМ



ПЕРША РОБОЧА НАРАДА

14—17 листопада в Космічному центрі ім. Кеннеді протягом тижня вперше відбулася серія засідань, інформацію про їх результати опубліковано в першому номері "Наукових записок" (січень, 1996) — щомісячного інформаційного бюлетеня, призначеного для забезпечення підготовки наукових експериментів, обміну інформацією між голов-

ними дослідниками та іншими членами команди СУАЕ. Він служив також статус-дповіддю менеджеру місії щодо корисного вантажу СУАЕ, науковцю НАСА щодо проекту СУАЕ та менеджменту II рівня НАСА. Публікація "Наукових записок" тривала до 1998 р., широко висвітлюючи послідовні події у підготовці та здійсненні СУАЕ, а також післяпольотного періоду СУАЕ (редактори: наукові координатори проекту Коріна Джонсон (№ 1—7) та Дейв Чепмен (№ 8—13).

На засіданнях були заслухані наукові доповіді головних дослідників, а також презентації менеджменту з різних аспектів підготовки корисного вантажу. Головний керівник програми СУАЕ Штаб-квартири НАСА пані Сінді Мартін і керівник з корисного вантажу польоту пан Майк Хаддад разом із паном Боббі Брюкнером — директором наземного допоміжного обслуговування корисного вантажу, привітали головних виконавців СУАЕ у Космічному центрі. Доктори Білл Нотт — завідувач відділу наукових біологічних програм Космічного центру, Рей Вілер — головний дослідник з біологічних проектів Космічного центру, пан Деніс Чемберленд — керівник освітніх програм з наук про життя Космічного центру, також підтримали зібрання. Інженер проекту СУАЕ пані Ріна Томсон з корпорації Байонетик (організатор засідання) керувала всією підготовкою проекту. Координатор наукової частини корисного вантажу СУАЕ пані Коріна

Джонсон з корпорації "Дайнемік" представила план координації наукової частини корисного вантажу СУАЕ. Координатор Освітнього проекту пан Том Дрешел з тієї ж корпорації представив свій план проекту, пані Келлі Норвуд і Деббі Вордермарк з корпорації Байонетик демонстрували обладнання для СУАЕ, пан Білл МакЛемб з тієї ж корпорації ознайомив присутніх з можливостями передпольотного проведення робіт у лабораторіях ангару L. Провідними науковцями та інженерами від Космічного центру, які підтримували СУАЕ, були доктор Уільям Пьястуч, пани Дейв Чепмен, Кен Андерсон і Франк Чаріот. Пан Філ Девіс з Еймського дослідницького центру, який підтримував проект СУАЕ на рівні II менеджменту, брав участь у засіданнях та підготовці "Резюме дискусій", яке на заключному засіданні підписали Єлизавета Кордью і Сінді Мартін. Від Штаб-квартири НАСА на засіданнях були також присутні пані Шері Камм з міжнародних справ і Лінда Біллінгс з інтерфейсу Штаб-квартири НАСА для Освітнього проекту СУАЕ.

Делегацію українських головних дослідників, які відвідали Космічний центр ім. Кеннеді, представляли д.б.н Єлизавета Кордью та д.б.н.Олена Недуха (Ін-т ботаніки НАНУ), д.б.н. Світлана Кочубей (Ін-т фізіології рослин і генетики НАНУ), к.б.н. Віктор Пріма (Ін-т молекулярної біології і генетики НАНУ), д.б.н. Орест Демків (Ін-т екології

Карпат НАНУ). До делегації Сполучених Штатів входили доктор Мері Масгрейв (відділ патології рослин і фізіології врожаю, Луїзіанський ун-т), доктор Пол Вільямс (відділ патології рослин, Вісконсінський ун-т) і пані Ко Вільямс з Вісконсінської програми "Швидкі рослини", доктор Джеймс Гайкема (відділення біології) та доктор Джейн Ліч (відділ патології рослин) з Канзаського ун-ту, доктор Фред Сак та доктор Волкер Керн (відділ біології рослин) з Огайського ун-ту, доктор Крістофер Браун (космічна біологія рослин) з Космічного центру ім. Кеннеді. Крім доповідей були проведені засідання, на яких головні дослідники та члени команд Космічного центру обговорювали різні деталі польотних експериментів та визначальні фази експериментів проекту СУАЕ, запуск якого був призначений на жовтень 1997 у 87-й місії. Сторони обговорили та оглянули експерименти, запропоновані Україною та США ще у березні 1995 р., і почали процес визначення областей спільної співпраці. Було погоджено, що для подальшої роботи пропонуються чотири первинних і вісім вторинних експериментів. Пан Пітер Четиркін та пан Майкл Єловіч з корпорації Дайнемік брали участь у перекладі всіх доповідей, запитань, відповідей та документації, що сприяло надзвичайно плідному обміну інформацією.

Було погоджено, що у проекті СУАЕ як основне польотне обладнання, використо-

уватимуться установка для вирощування рослин (УВР) та каністри для біологічних досліджень (КБД). Українській стороні був наданий опис цих та допоміжних приладів, передано відомості про обладнання, його можливості та операції з ним, а також освітні програми для опрацювання. Щоб досягти найвищої наукової цінності СУАЕ, сторони погодилися використовувати в експериментах з вирощування рослин тільки один вид рапсу (*Brassica rapa*). Було також погоджено питання про доставку на орбіту рослин рапсу на початку генеративного розвитку та насіння, що проростатиме в польоті, про використання видів мохів *Pottia intermedia* та *Ceratodon purpureus*, а також проростків сої в експериментах, які проводитимуться в каністрах для біологічних досліджень.

Ще під час засідань головні дослідники СУАЕ підібрали акроніми (скорочені назви), максимум шість слів, для своїх експериментів. Юридичний відділ Космічного центру ім. Кеннеді розглянув та прийняв такі акроніми:

А) Експерименти в установці для вирощування рослин:

1) В-STIC (*B-Brassica*, stic — паличка, на яку насаджується черевце бджоли для нанесення пилку на приймочку маточки) — вплив мікрогравітації на запилення та запліднення.

2) В-РАС (*B-Brassica*, РАС — фотосинтетичний апарат у камерах) — вплив зміненої гравітації на фотосинтез.

3) ROOTS (корені) — вплив мікрогравітації на структуру, функції та організацію клітин кореня у *Brassica rapa*.

4) GENEX (генетичний апарат) — вплив умов космічного польоту на генну експресію у тканинах *Brassica rapa* та сої.

5) AMINO (амінокислоти) — вплив умов космічного польоту на вміст амінокислот у тканинах *Brassica rapa*.

6) PHYTO (фітогормони) — вплив умов космічного польоту на вміст фітогормонів у тканинах *Brassica rapa*.

7) TSIPS (вчителі та учні досліджують рослини у космосі) — Освітня програма.

8) RATIO (відношення) — вплив мікрогравітації на відношення корінь/стебло у проростків *Brassica rapa* та сої.

Б) Експерименти в каністрах для біологічних досліджень:

9) SPAM (SPA — космічний, M — мох) — вплив мікрогравітації на диференціювання та фототропізм протонемати мохів.

10) SOYPAT (SOY — соя, PAT — патологія) — вплив мікрогравітації на патогенез та захисні реакції тканин сої.

11) SOYMET (SOY — соя, MET — метаболізм) — взаємодія мікрогравітації та етилену та їх вплив на ріст і метаболізм сої.

Українська сторона визначила ряд наземних досліджень, які мали бути виконані перед остаточним затвердженням наукового плану, і повинні були завершитися у березні 1996 р. Планувалися додаткові

наземні експерименти із застосуванням кліноштату для наступного порівняння одержаних даних з результатами досліджень тканин після космічного польоту. Сторони обговорили експеримент з рослинами *Brassica rapa*, в якому за Освітньою програмою планувалися дослідження цвітіння, утворення пилку, запилення та розвитку зародка. Розглядалося проведення у класних кімнатах занять щодо наземного контролю. Підкреслювалося, що експеримент добре підготовлений, тому його виконання легко могло бути адаптованим до проекту СУАЕ. Робоча нарада з цих питань була призначена на 11—13 січня 1996 р. Наголошувалося на доцільності проведення відео- та телеконференцій між центрами НАСА та школами в Україні, а також спілкування між учнями, які виконуватимуть наземні контрольні експерименти, та спеціалістами з корисного вантажу протягом місії. Погоджено проведення робочих нарад для підготовки вчителів, які беруть участь в Освітній програмі, влітку 1997 р.

Було проінформовано, що Імплементуюча угода між НАСА та НКАУ готується і незабаром буде завершена. Вона стане обов'язковим документом для проекту СУАЕ, а всі додаткові угоди між двома сторонами повинні бути погоджені з її змістом.

1996

✦ Делегація США прибуває в Україну для детального обговорення вимог до СУАЕ, березень.

✦ Угода надсилається до України, квітень.

✦ Підготовка спільної пропозиції, травень.

✦ Передача уніфікованої пропозиції для експертної оцінки, м. Вашингтон, 22 травня.

✦ Перевірочний науковий тест, жовтень.

Протягом 1996 р. члени команди Космічного центру ім. Кеннеді забезпечували наукову та технічну підтримку проекту СУАЕ, знайомилися з напрямками досліджень, науковим потенціалом і технічними можливостями підрозділів університетів США та інститутів Національної академії наук України. Координатор наукового корисного вантажу СУАЕ Коріна Джонсон відвідала лабораторію Фреда Сака та Волкера Керна в Огайському університеті в грудні 1995 р. Уільям Пьястуч з команди підтримки наукової частини СУАЕ та інженер проекту СУАЕ Ріна Томсон відвідали лабораторію Мері Масгрейв в Луїзіанському університеті в січні 1996 р.

6—14 березня делегація США відвідала Київ і Львів. Метою поїздки було знайомство з документами щодо СУАЕ, обговорення деталей експериментів, які планувалося проводити у каністрах для біологічних досліджень та установці для вирощування

рослин, відвідання інститутів, які беруть участь у проєкті СУАЕ, та зустріч з представниками НКАУ. Менеджер місії СУАЕ Майк Хаддад очолював делегацію, до складу якої входили Ріна Томсон, Келлі Норвуд і Коріна Джонсон з Космічного центру ім. Кеннеді, Філ Девіс з Еймського дослідницького центру НАСА та менеджер НАСА з космічної біології Том Скотт, Волкер Керн з Огайського університету та Пітер Четиркін з корпорації Дайнемік, який допомагав перекладати доповіді та виступи.

Члени делегації США познайомилися з науковими напрямками та технічними можливостями Інституту молекулярної біології та генетики, Інституту фізіології рослин та генетики, Інституту ботаніки, Інституту мікробіології та вірусології, Центрального (тепер Національного) ботанічного саду та Інституту екології Карпат Національної академії наук України, відвідали Палац молоді, Державний еколого-натуралістичний центр учнівської молоді (Наукові записки № 2, лютий та № 3, березень).

Делегацію НАСА прийняв генеральний директор НКАУ Олександр Негода. Були обговорені термінові питання, пов'язані з організацією та науковими завданнями СУАЕ. Досягнуто усної згоди щодо критеріїв успіху СУАЕ. Проведено аналіз технічних можливостей та наукового потенціалу українських спеціалістів в інститутах, які відвідувалися. Резюме обговорення підписали ме-

неджер місії СУАЕ Майк Хаддад (НАСА), керівник підрозділу міжнародних відносин НКАУ Костянтин Ярцев та науковий менеджер СУАЕ Єлизавета Кордюм (Національна академія наук України). Була призначена зустріч з Едуардом Кузнецовим (заступником генерального директора НКАУ) та кандидатами в космонавти — дослідники Леонідом Каденюком та Вячеславом Мейтарчаном (Національна академія наук України).

Українська сторона зазначила, що візит делегації НАСА сприяв з'ясуванню багатьох проблем щодо спільної підготовки СУАЕ з боку США, робоча група якої представляла чотири університети та Космічний центр ім. Кеннеді. З українського боку в експерименті планувалася участь чотирьох інститутів та Центрального ботанічного саду. Польотний експеримент тривалістю 16 діб був запланований на жовтень 1997 р. США надали Україні інформацію про графік завдань і термін їх виконання, погоджений обома сторонами.

Американська сторона рекомендувала проведення двох телеконференцій наступного тижня (від 18 березня) для завершення протоколу експерименту. Одну телеконференцію мав проводити Джеймс Гайкема для остаточного узгодження протоколу посіву насіння та вирощування рослин, другу — Мері Масгрейв — для визначення протоколу щодо режиму освітлення рослин. Обидві сторони обговорили розподіл рос-

линного матеріалу протягом фази наземних досліджень. Було погоджено, що рослини *Brassica* для проведення наземних досліджень українською стороною вирощуватимуться в одному місці. Єлизавета Кордюм розподілятиме цей рослинний матеріал між українськими головними дослідниками.

Обидві сторони обговорили Освітній проєкт за участю школярів. Відповідальними за Освітню Програму були: від американської сторони — Пол Вільямс, від української — Володимир Назаренко (Інститут біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України).

Обговорювалися також специфічні вимоги до наукової підготовки спеціаліста з корисного вантажу СУАЕ. Було пояснено, що графік його наукової підготовки треба починати виконувати за 17 місяців до запуску, а тренувальні роботи на борту шатла в Хьюстоні — за 10 місяців. Українська сторона просила провести однакову підготовку для космонавта-дослідника та його дублера. Американська сторона відповіла, що стандартна практика дозволяє однакову наукову підготовку та оволодіння операціями на шатлі. У результаті проведених дискусій українська сторона надала список фахівців, які мали брати участь у дослідженнях у Космічному центрі ім. Кеннеді відповідно до угоди між НАСА та НКАУ.

Команда СУАЕ щиро подякувала Ріні Томсон за все, що вона зробила для цієї поїздки та забезпечення подальшого про-

сування СУАЕ. Члени делегації США висловили глибоку вдячність українській стороні за щирю гостинність, інформативні та плідні дискусії, відмінні презентації досліджень в інститутах, які відвідувалися, та сподівання на успіх у спільній місії.

Інформація щодо корисного вантажу СУАЕ та українського космонавта містилася в доповіді НАСА-НКАУ, підписаній директором НАСА Данієлом Голдінім та генеральним директором НКАУ Олександром Негодою 4 квітня 1996 р. Було домовлено про корисний вантаж, який складався з двох типів польотного обладнання на шатлі: установка для вирощування рослин та каністри для біологічних досліджень для чотирьох первинних експериментів. Тканини рослин, не потрібні для первинних експериментів, мали бути розподілені між вісьмома вторинними експериментами для підвищення наукової ефективності цієї місії. В експериментах брали участь сім учених з п'яти університетів, космічного центру ім. Кеннеді та однієї корпорації США і 14 українських учених із шести інститутів Національної академії наук України. Крім того, місія включала освітній компонент, за яким учні у США та Україні мали дублювати експерименти на орбіті для порівняння результатів космічних та наземних досліджень та спілкуватися з українським спеціалістом з корисного вантажу. Така діяльність поживляло діалог між науковця-

ми двох країн. Її результатом стало створення спільних пропозицій для інших кооперативних досліджень.

Було підкреслено, що умови мікрогравітації в космічному польоті створюють унікальну експериментальну платформу для вирішення важливих фундаментальних і прикладних питань біології та сільського господарства. Успішне завершення цього експерименту мало демонструвати світовій науковій спільноті здатність проведення спільних біологічних експериментів на шатлі. Завдяки тренуванню українського спеціаліста з корисного вантажу, дослідники зможуть точно спрямовувати експеримент із Землі. Ці методи й процеси будуть моделлю для проведення складніших експериментів на Міжнародній космічній станції.

"РОБОЧІ ДНІ" ПОЧАЛИСЯ

Відповідно до вимог наукової підготовки майбутніх космонавтів-дослідників в Україні, за їх власним бажанням, Леонід Каденюк та Вячеслав Мейтарчан мали прослухати курс лекцій з питань, пов'язаних із головною метою СУАЕ, — вивчення впливу мікрогравітації на ріст та розвиток вищих рослин. Тому до лекцій включили загальні питання морфології, анатомії, фізіології, біохімії та молекулярної біології рослин; сучасні уявлення про гравічутливість рослин,

результати космічних та синхронних наземних експериментів з нижчими та вищими рослинами, нагальні питання майбутніх досліджень у космічній та гравітаційній біології тощо. У відповідності з предметом лекції проводилися в різних інститутах Національної академії наук України, які були визначені учасниками СУАЕ. Приємно відмітити великий інтерес та допитливість кандидатів у космонавти-дослідники, які щиро казали, що вони не хочуть бути лише механічними виконавцями задач СУАЕ, але бажають виконувати протокол експерименту з достатнім розумінням головної проблеми досліджень. Слід сказати, що Леонід Каденюк вже проходив біологічну підготовку в Зоряному містечку під Москвою. Заняття мали продовжувати до червня, тобто до запланованого від'їзду двох українських кандидатів у космонавти-дослідники до Космічного центру ім. Джонсона (м. Хьюстон, штат Техас) для остаточного медичного обстеження. Протягом двох тижнів червня планувалося їх перебування в Космічному центрі ім. Кеннеді, де науковці від корпорації Дайнемік мали забезпечити для них заняття з базових питань біології рослин (Наукові записки, № 5, червень/липень 1996). Пізніше, у вересні 1996 р., до Хьюстону мали прибути два інші кандидати у космонавти-дослідники Ярослав Пустовий — старший науковий співробітник Інституту космічних досліджень НАН України, к.ф.-м.н.,

і Надія Адамчук — науковий співробітник Інституту ботаніки НАН України, к.б.н.

У листопаді, за остаточним рішенням НАСА та НКАУ, полковник Леонід Каденюк був визначений космонавтом-дослідником, а Ярослав Пустовий — його дублером. Десятимісячна підготовка до польоту чекала на них у США, включаючи відвідання університетів і Космічного центру ім. Кеннеді, знайомство з польотним обладнанням, набуття досвіду роботи з обладнанням та методами спостереження і маніпуляції з об'єктами, зокрема проведення запилення квіток *Brassica rapa*, методами фіксації матеріалу і, звичайно, поліпшення їх англійської мови.

Були визначені спеціалісти з Національної академії наук України, які мали брати участь у проекті СУАЕ від України: д.б.н. Олена Недуха, к.б.н. Антоніна Попова, д.б.н. Людмила Мусатенко, к.б.н. Дмитро Климчук, к.б.н. Олена Золотарьова та к.б.н. Віктор Негрецький (Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного), д.б.н. Світлана Кочубей та к.б.н. Ольга Воловик (Інститут фізіології рослин і генетики), к.б.н. Віктор Пріма та к.б.н. Олена Мартиненко (Інститут молекулярної біології і генетики), д.б.н. Тетяна Черевченко та к.б.н. Наталья Заїменко (Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка), д.б.н. Орест Демків та к.б.н. Христина Чабан (Інститут екології Карпат), д.б.н. Ростислав Гвоздяк (Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного). Українські вчені роз-

почали активну підготовку з проведення наземних експериментів. Вони вирощували рослини в УВР, яка була люб'язно надіслана в Україну з Космічного центру ім. Кеннеді, та маніпулювали з ними відповідно до завдань експериментів.

У червні 1996 р. Документ вимог до СУАЕ був остаточно підготовлений інженером проекту СУАЕ Ріною Томсон (Байонетик/БІО-3), апробований менеджером місії з корисного вантажу Деббі Вордермарк (Байонетик/БІО-3) та менеджером місії з наукового корисного вантажу Сіндією Мартін (НАСА), головним ученим з біологічних програм Біллом Ноттом (НАСА) та докторами Джеймсом Гайкемою (Канзаський ун-т), Мері Масгрейв (Луїзіанський ун-т), Фредом Саком (Огайський ун-т), Єлизаветою Кордюм (Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного) та узгоджений з координатором наукової частини проекту СУАЕ Коріною Джонсон (Дайнемік/ДАЙ-3).

Директорат з наземних операцій з корисним вантажем НАСА в Космічному центрі ім. Кеннеді планував працювати з корисним вантажем, використовуючи космічний корабель. Запуск призначили спочатку на 9 жовтня, пізніше — на 19 листопада 1997 р. Документ погодили з головними дослідниками та менеджером місії з корисного вантажу НАСА/Космічний центр. Він був джерелом інформації для всього корисного вантажу СУАЕ, а в разі конфлікту мав пере-

ваги над іншою документацією щодо корисного вантажу 87-ї місії. Цей документ був призначений для використання командою Космічного центру з розвитку корисного вантажу протягом виконання Програми космічного шатла та іншої внутрішньої документації, а також контролював всі фази підготовки корисного вантажу та операцій з ним. Для успішної місії Документ встановлював:

- ✦ наукові завдання експерименту;
- ✦ обладнання та ресурси польотної програми;
- ✦ операції з корисним вантажем;
- ✦ відповідні вимоги/операції наземної підтримки.

Описи експериментів базувалися на оригінальних наукових пропозиціях, надісланих до НАСА у березні 1995 р., угодах, представлених у протоколі зустрічі в листопаді 1995 р. та результатах наземних досліджень визначальної фази. Було підтверджено дві категорії експериментів: автономні, які визначали об'єкти досліджень, та експерименти зі спільним використанням тканин. Дослідний матеріал для останніх мав надходити від об'єктів автономних експериментів.

Основною метою експерименту СУАЕ було дослідження та з'ясування ролі гравітації у функціонуванні клітин та організмів, оскільки фундаментальні знання щодо ролі гравітації на клітинному та організменному

рівнях є ключовими у здійсненні тривалих пілотованих космічних місій та створенні контрольованих екологічних систем життєзабезпечення космонавтів. Такий експериментальний імператив безпосередньо підтримував дослідження космічного простору та розвиток космічного підприємства як шлях "внеску до створення нових наукових знань через вивчення впливу космічного середовища на важливі біологічні, хімічні та фізичні процеси". (Стратегічний план НАСА). Проект зосереджувався на рослинних організмах, оскільки рослини є необхідними для вирішення фундаментальних та прикладних проблем космічної і гравітаційної біології. Таким чином, проект також безпосередньо підтримував мету Відділу біологічних і біомедичних наук та прикладних досліджень Штаб-квартири НАСА відносно ефективного використання мікрогравітації та інших унікальних аспектів космічного середовища для кращого розуміння фундаментальних біологічних процесів.

Хоча інтерес до фундаментальних аспектів гравітаційної біології рослин був основною мотивацією експериментів і забезпечував обґрунтування наукової експертної оцінки, метою цього проекту було також налагодження співпраці між біологами України та Сполучених Штатів, які досліджують рослини в космічному польоті. Проект СУАЕ став безпосереднім результатом дипломатичних відносин між двома країнами.

Кандидатури головних дослідників для участі в ньому обговорювалися з українськими колегами на чолі з Єлизаветою Кордюм — головою секції космічної біології, біотехнології та медицини в Раді з космічних досліджень НАН України та координатором досліджень НКАУ в цій галузі, яка забезпечувала узгодження дослідницьких інтересів науковців України та США. Головних дослідників у США обирали за конкурсом, спрямованим на максимізацію можливостей гравітаційної біології рослин в цій спільній місії.

НАУКОВІ ЗАВДАННЯ СУАЕ

Були сформульовані такі наукові завдання експерименту (наводиться оригінальний авторський текст):

1. Вплив мікрогравітації на запилення і запліднення

Акронім експерименту: **B-STIC**

Головні дослідники: доктор Мері Масгрейв (США) д.б.н. Єлизавета Кордюм (Україна)

Співвиконавець: к.б.н. Антоніна Попова (Україна)

Обладнання: УВР

Категорія: автономний.

Перехід від вегетативної до репродуктивної фази, здається, є особливо чутливим періодом у життєвому циклі рослин за умов

мікрогравітації. В попередніх космічних експериментах більшість рослин не утворювали насіння, а якість того, що утворилося в одному експерименті, була низькою (Parfenov & Abramova, 1981). Дані дозиметрії не давали змоги пояснити стерильність рослин впливом високих доз радіації, тому порушення у репродуктивному розвитку рослин скоріше спричинювалося дією мікрогравітації. Певні стадії репродуктивного розвитку покритонасінних потенційно можуть бути чутливими до дії мікрогравітації. Процеси утворення пилку та яйцеклітин, запилення та запліднення є складними процесами розвитку. На жаль, наявна дуже обмежена інформація щодо впливу мікрогравітації на повний індивідуальний розвиток рослин, хоча знання про утворення насіння в цих умовах є дуже важливими. Маємо лише декілька повідомлень про розвиток генеративних органів у вищих рослин на прикладі *Muscari racemosum* та *Arabidopsis thaliana* (Kordyum et al., 1979, 1983; Merkys & Laurinavichius, 1983) на клітинному рівні в умовах мікрогравітації. Додаткова інформація була отримана в космічних експериментах з *Arabidopsis thaliana*, проведених недавно в США (Kuang et al., 1993, 1995, 1996; Mathews et al., 1993; Musgrave et al., 1993, 1994). Ці результати припускають негативний вплив відсутності гравітаційного вектора на деякі процеси розвитку (Halstead & Dutcher, 1984; 1987; Cowles, et al.,

1988; Mashinsky et al., 1994; Kordyum, et al., 1994; Kordyum, 1994). Тому дуже важливо дослідити вплив мікрогравітації на фундаментальні процеси, необхідні для утворення насіння, а саме запилення та запліднення. Рослини *Brassica rapa*, за своїм невеликим розміром та коротким життєвим циклом, є ідеальним об'єктом для таких досліджень.

До цього часу не було можливості детально порівняти процеси запилення та запліднення в умовах мікрогравітації та в наземному контролі, оскільки в космічному польоті не було змоги штучно запилювати квіти. Тільки спеціальна підготовка учасника польоту з проведення штучного запилення та фіксації запилених квіток на орбіті мала допомогти одержати інформацію про фертильність пилку, взаємодію пилку та приймочки, ріст пилкових трубок, запліднення та послідовні стадії розвитку зародка.

Для цього експерименту, планується використання двох популяцій рослин. Одна надсилатиметься на орбіту в стадії бутонізації, тобто перед цвітінням, друга — має вирости з насіння, яке починає проростати на орбіті. Використовуючи комплект для запилення, космонавт має щоденно запилювати квітки першої популяції та позначати запилені квітки різнобарвними мітками. Палички після запилення повинні зберігатися в ексикаторі для подальшого визна-

чення життєздатності пилку. Певна частина запилених квіток фіксуватиметься в польоті, більша ж частина — доставлятися на Землю у свіжому стані для подальшої роботи із стручками, які одержуватимуться в першій популяції рослин, доставлених на орбіту на стадії бутонізації. Щоб одержати високоякісний матеріал для мікроскопічного аналізу, необхідно буде ізолювати насіння із стручків перед фіксацією в польоті. Невелику кількість стручків планується перевести в культуру *in vitro* для одержання стиглих зародків. У другій популяції рослин, які мають вирости з доставленого на орбіту насіння, очікується одержати пуп'янки. Зібрані пуп'янки використовуватимуться для вивчення життєздатності пилку (фарбування діацетат-флуохромом), проростання пилкових зерен на приймочці та росту пилкових трубок у стовпчику (фарбування аніліновим блакитним), виявлення естераз у приймочках. Перед підготовкою до мікроскопічних досліджень вимірюватимуться розміри пуп'янків. Загалом дослідження цієї стадії життєвого циклу має об'єднати багато першочергових питань гравітаційної біології.

2. Вплив зміненої гравітації на фотосинтетичний апарат

Акронім експерименту: **В-РАС**

Головні дослідники: доктор Джеймс Гайкема, (США) д.б.н. Єлизавета Кордюм (Україна)

Співвиконавці: доктори Уільям Одом, Еммануель Хіларі (США), д.б.н. Олена Недуха, д.б.н. Світлана Кочубей, к.б.н. Надія Адамчук, к.б.н. Ольга Воловик (Україна)

Обладнання: УВР

Категорія: автономний.

В космічних експериментах, проведених на борту Біосателіта II (Reynolds & Saunders, 1971), біосупутників серії Космос (Ilyin, 1983; Podluzky, 1992; Rasmussen et al., 1992), орбітальних платформ Салют і Мир, та Шатлів, (Krikorian & O'Connor, 1984; Moore et al., 1987 a, b; Levine & Krikorian, 1992), встановлений вплив факторів польоту на ультраструктуру рослинних клітин. В ряді з них рослинний матеріал знаходився в умовах освітлення значний проміжок часу (Chevchenko et al., 1986; Halstead & Dutcher, 1987; Kordyum, 1994; Kordyum et al., 1994; Claassen & Spooner, 1994).

Як відомо, фотосинтез — найважливіший процес, що забезпечує виробництво їжі та волокна. В той же час фотосинтетичний апарат надзвичайно чутливий до різноманітних стресорних чинників, зокрема високої температури (Apel & Kaus, 1978; Harding et al., 1990 a, b; Ferguson et al., 1990, 1993; Xu et al., 1995 a, b), нестачі живлення, засухи, високої інтенсивності світла та дефіциту вуглекислого газу. Дані українських та американських дослідників (Dutcher et al., 1994; Kordyum, 1994; Kordyum et al., 1994; Tripathy et al., 1996) припускають стресо-

вий вплив космічного оточення на фотосинтетичний апарат. Оскільки фотосинтез забезпечує їжу, кисень та регенерацію води, розуміння впливу космічного середовища на динаміку цього складного процесу є необхідним. У даний час існує обмаль даних щодо структури та функціонування хлоропластів в умовах мікрогравітації, до того ж вони часто суперечливі (Halstead & Dutcher, 1987; Claassen & Spooner, 1994; Dutcher et al., 1994; Kordyum, 1994; Kordyum et al., 1994). У хлоропластах рослин, вирощених в умовах космічного польоту, часто спостерігається зменшення стикування мембран тилакоїдів та збільшення кількості пластоглобул (Porova et al., 1989, експерименти з одноклітинною зеленою водорістю хлорела). Повідомлення про вміст пігментів у листках рослин в космічному польоті також суперечливі. Поряд з даними щодо збільшення у космічному польоті вмісту хлорофілу у листках гороху (Abilov et al., 1986; Alyev et al., 1987), існують протилежні (Laurinavichius et al., 1988). Вміст хлорофілу та каротиноїдів зменшувався в листках кукурудзи після 19-добового космічного польоту на станції Мир (Rumyanzeva et al., 1990) та у хлорели від 35 до 50 % у порівнянні з контролем (Antonyan et al., 1992). Припускається, що зміни текучості мембран, індуковані змінами складу жирних кислот (Kordyum et al., 1994), можуть суттєво впливати на транспорт речовин через мембрану та механізми

хеміосмотичного збереження енергії. Повідомляється про зниження електронного транспорту в хлоропластах листків рослин пшениці, які виростили в умовах мікрогравітації (Tripathy et al., 1996), хоча механізми таких змін залишаються невідомими. Можливо, що ці ефекти спричинені прямою дією мікрогравітації на біологічні системи через чутливі до гравітації рецептори. Але, скоріше, такі зміни в умовах мікрогравітації відбуваються внаслідок обмеженого надходження вуглекислого газу, фотоінгібування та фотоокиснювального стресу таким же шляхом, як і за негативного впливу на фотосинтез інших стресових факторів.

Для розуміння впливу космічного польоту на фотосинтез важливими є дослідження перетворення енергії сонячного світла та шляхів фіксації вуглецю рослинами на орбіті. В останні 10 років було набуто нові знання щодо структури та функції тилакоїдних мембран завдяки використанню молекулярно-біологічних методів, біохімічному виділенню мембранних білкових комплексів та тримірному структурному аналізу кристалів білків реакційних центрів на атомному рівні (Krauss et al., 1993; Schubert et al., 1995; Deisenhofer et al., 1985). Саме результати таких досліджень створюють базу для вивчення впливу космічного польоту на фотосинтез.

Для дослідження впливу зміненої гравітації на фотосинтетичний апарат в цьому

експерименті планується використовувати проростки *Brassica rapa* на різних стадіях розвитку з УВР. До завдань експерименту В-РАС входить порівняння змін в ультраструктурі, біохімічному складі та функціональному стані фотосинтетичного апарату, які відбуваються на різних стадіях вегетативного розвитку проростків *Brassica rapa* в умовах мікрогравітації, кліноостатування та гіпергравітації. Насіння *Brassica rapa* доставлятиметься на орбіту в сухому стані та змочуватиметься після підйому корабля. Частину тканин треба збирати та фіксувати або заморожувати на орбіті. 12—14-добові проростки плануються у свіжому стані повертати на Землю для інтенсивної обробки після приземлення. Листки зі старіших рослин (24—27-добових) з експерименту В-STIC також мають досліджуватися для порівняння в експерименті В-РАС (спільне користування).

Післяпольотні дослідження свіжих, заморожених або фіксованих тканин включають: 1) поділ біомаси; 2) електронну мікроскопію ультраструктурної організації хлоропластів та мезофільних клітин; 3) конфокальну мікроскопію тканин мезофілу; 4) аналіз пігмент-білкового та білкового складу виділених хлоропластів; 5) аналіз стану пігментної системи та ланцюгу передачі енергії шляхом вимірювання низької температурної емісії та спектрів збудження; 6) тестування активності фотосинтетичного апарату.



ту та стану електрон-транспортного ланцюга шляхом вимірювання кривих індукції флуоресценції (ефект Каутського) листків та хлоропластів; 7) вимірювання швидкості фотохімічної реакції фотосистем I та II (швидкість редукції реагентів Хілла та еволюції кисню). Ці дослідження і технічні методи дозволяють у повній мірі оцінити вплив зміненої гравітації на фотосинтетичний апарат.

3. Взаємодія мікрогравітації і етилену та їх вплив на ріст і метаболізм сої

Акронім експерименту: **SOYMET**

Головний дослідник: доктор Крістофер Браун (США)

Співвиконавці: доктор Джеймс Гайкема, доктор Уільям Пьястуч (США); д.б.н. Олена Недуха, к.б.н. Дмитро Климчук, к.б.н. Віктор Пріма (Україна)

Обладнання: КБД-60

Категорія: автономний.

Метою експерименту є дослідження взаємодії мікрогравітації та етилену, їх вплив на розподіл біомаси та вуглеводний метаболізм в етіольованих проростках сої.

Як відомо, космічний політ суттєво впливає на ріст та метаболізм рослин (Halstead & Dutcher, 1987; Schulze et al., 1992; Dutcher et al., 1994; Kordyum, 1994), структуру клітин та органел (Hilaire et al., 1995 a, b; Klymchuk et al., 1992; Moore et al., 1987 a, b, c; Volkman et al., 1991), цілісність хромосом (Levine & Krikorian, 1992) тощо. Увага при-

ділялася впливу космічного польоту та/або зміненої гравітації на вуглеводний метаболізм, зокрема, крохмалю (Brown et al., 1988, 1996; Brown & Piastuch, 1994). Наявні дані здебільшого свідчать про зменшення вмісту крохмалю у рослин, вирощених у космічному польоті, порівняно з наземним контролем. Так, листки рослин гороху за умов космічного польоту втрачали крохмаль або містили малу його кількість (Abilov et al., 1986; Alyev et al., 1987). Виявлено знижений вміст крохмалю та підвищений — розчинних цукрів у листках рослин перцю в космічному польоті (Johnson & Tibbitts, 1968). Також наведено дані про зменшений вміст крохмалю або розмір крохмальних зерен у проростків арабідопсису (Laurenvichius et al., 1988) та кукурудзи (Moore et al., 1987 a-c) в умовах космічного польоту. Використовуючи проростки сої як просту модельну систему для вивчення синтезу крохмалю, Brown та Huber (1987) показали, що сім'ядолі проростків сої, які росли в космічному польоті, містять значно менше крохмалю порівняно з наземним контролем (Brown et al., 1995). Було також показано зниження активності одного з ферментів синтезу крохмалю ADP глюкози пірофосфорилази (Nakata & Okita, 1995; Stark, 1992). Встановлено, що активність цього ферменту швидко зростала після повернення на Землю. Цікаво зауважити, що відкладання вуглеводів у запасючих органах рослин, таких як морква та

картопля, збільшувалося в разі обробки етиленом (Stitt et al., 1986). Припускається, що це могло бути наслідком підвищення концентрації фруктозо-2,6-біфосфату, який активує дихання. Тому збільшення виробництва етилену в рослинах за умов космічного польоту може прискорювати деструкцію крохмалю.

Етилен є летким фітогормоном, який дифундує через міжклітинники та виходить назовні (Jackson, 1991). Є чимало прикладів збільшення синтезу етилену під впливом біотичних та абіотичних стресових агентів (Hyodo, 1991), зокрема, за умов горизонтального кліностакування (Leather & Forrence, 1972; Salisbury & Wheeler, 1981). В останньому разі збільшення синтезу етилену спочатку пояснювали механічним впливом кліностакування. Але пізніше було показано значне зростання концентрації етилену в проростках сої за умов космічного польоту (Brown et al., 1995), коли механічна стимуляція відсутня. Проте не виключалося, що зразки досліджували після польоту, тому вони могли зазнавати механічного стресу. Слід вказати, що таке збільшення концентрації етилену виявлене в разі кліностакуванні проростків сої, коли механічний стрес на рослини був усунутий (Hilaire et al., 1996). Тому припускається, що збільшення синтезу етилену скоріше є прямим наслідком впливу зміненої гравітації (мікрогравітації або кліностакування) на

рослини, ніж результатом механічних порушень. Забір газу на орбіті має з'ясувати припущення про надмірний синтез етилену за умов космічного польоту.

Відомо, що іони кальцію беруть участь у вуглеводному метаболізмі, регулюючи активність кальційзалежних протеїніназ (Huber et al., 1995). Є також повідомлення, що кальцій може індукувати асиметричний розподіл ауксину (Li et al., 1991; Evans et al., 1992), внаслідок чого у тканинах збільшується концентрація іонів кальцію (Romano et al., 1993). Встановлений перерозподіл вільного кальцію в клітинах рослин, які росли за умов мікрогравітації (Hilaire et al., 1995 c). На підставі цих даних можна припустити, що перерозподіл кальцію в клітинах в космічному польоті змінює вуглеводний метаболізм та концентрації ауксину, що призводить до підвищеного утворення етилену.

Плануються такі дослідження етіолованих проростків сої, які мають вирости з насіння, що доставлятиметься на орбіту в сухому стані, змочуватиметься та проростатиме в польоті: 1) концентрацій крохмалю, розчинних цукрів, ліпідів та білка в сім'ядолях проростків за допомогою спектрофотометричної та мікроскопічної техніки; 2) активності ключових ферментів метаболізму запасного резервного матеріалу в сім'ядолях, в тому числі ADP глюкозо-пірофосфорилази, сахарозофосфат синтази, фрукто-

зо-біфосфатази та ліпази; 3) диференційної експресії генів у тканинах коренів, гіпокотилія, епикотилія та сім'ядолей, а також визначення ADP глюкози пірофосфорилази за допомогою Вестерн блота. Всі досліджені параметри мають порівнюватися з наземним контролем.

Зразки газу (CO₂ та етилену) планується брати з половини кожної каністри перед її відкриттям космонавтом-дослідником для додавання води. Верхня половина кожної каністри, звідкіля братимуться зразки газу, відкриватиметься для повного провітрювання та закриватиметься до наступного забору газу. Нижня половина кожної каністри залишатиметься закритою протягом польоту для визначення складу газу.

Очікується, що такі експериментальні підходи дозволять одержати нові дані про вуглеводний метаболізм рослин, взаємодію етилену та мікрогравітації та їх вплив на життєдіяльність рослин у космічному польоті.

4. Вплив мікрогравітації на патогенез та захисні реакції тканин сої

Акронім експерименту: **SOYPAT**

Головний дослідник: доктор Джейн Ліч (США)

співвиконавці: доктор Джеймс Гайкема (США), доктор Крістофер Браун (США); д.б.н. Олена Недуха (Україна)

Обладнання: КБД-60

Категорія: автономний.

Експеримент спрямований на перевірку гіпотези про збільшення агресивності патогенних грибів по відношенню до рослини-хазяїна.

Як і на Землі, одержання врожаю сільськогосподарських культур у космічному польоті потребує розуміння фізичних і біологічних вимог та параметрів для оптимального росту рослин. Дослідження ж унікальних вимог щодо одержання врожаю в космічному польоті знаходяться лише на початковій стадії. Попередні дослідження показали, що мікрогравітація істотно впливає на рослини на клітинному та фізіологічному рівнях (Halstead & Dutcher, 1987; Dutcher et al., 1994; Krikorian & Levine, 1991; Krikorian et al., 1992). Наприклад, оболонки рослинних клітин у космічному польоті потоншуються та містять менше лігніну (Cowles et al., 1984, 1989). Такі зміни призводять не лише до зменшення врожаю, але й суттєво впливають на взаємодію між рослиною та мікроорганізмами. Є дані, що рослини за умов космічного польоту є більш чутливими до мікробної інвазії (Кордьюм, персональне повідомлення). Якщо це дійсно так, то негативні наслідки для одержання врожаю в космічному польоті можуть бути серйозними, оскільки підвищена доступність рослин для мікроорганізмів може означати не лише більшу сприйнятливості до відомих патогенів, але й до колонізації факультативними патогенами, тобто організ-



мами, які за звичайних умов не є патогенами для рослини. Тому першим завданням експерименту є визначення, чи збільшиться сприйнятливість проростків сої в умовах мікрогравітації до кореневої гнилі, спричинюваної *Phytophthora sojae*, порівняно з наземними проростками.

Патогенність може збільшуватися за дії різних чинників: посилення енергії росту мікробів в умовах мікрогравітації або їх резистентності до впливу токсичних сполук, які виділяють рослини. В цьому проєкті увага зосереджується на вивченні рослини-хазяїна. Підвищення сприйнятливості в умовах мікрогравітації може бути результатом змін існуючих у рослині бар'єрів до проникнення патогена (наприклад, зменшення жорсткості клітинної стінки внаслідок зниженої лігніфікації) або змін у розподілі поживних речовин (зокрема, збільшення вуглецю або текучості мембрани). Планується порівняти будову клітинної стінки та розподіл вуглеводів у проростках сої за умов мікрогравітації та в наземному контролі та визначити, чи існують кореляції між цими можливими змінами та підвищенням сприйнятливості до збудника кореневої гнилі.

Мікрогравітація також може впливати на здатність рослин активно протистояти проникненню патогена: індуковані патогеном захисні сполуки або не утворюються в рослині, або, в разі утворення, не локалізуються у відповідних місцях. У цілому, речовини,

які утворюються в рослині для протидії патогену, містять розчинні антибіотичні сполуки — так звані фітоалексини, структурні зміцнюючі компоненти — як фенольні полімери лігнін або суберин, ферменти біосинтезу фітоалексинів або фенольних полімерних відкладень, наприклад пероксидазу, або ферменти, які безпосередньо діють на патоген, хітиназу або р-глюканазу (Graham & Graham, 1991b). Передбачається визначити, чи будуть відмінності в акумуляції та поширенні структурних сполук (фенольних полімерів) та ферментів, акумуляція та поширення яких корелює із стійкістю (аніонна пероксидаза та фосфоліпаза D), у проростків сої, оброблених двома расами *P. sojae* (раса 1 та раса 25), які викликають відповіді стійкого та сприйнятливого характеру, в умовах мікрогравітації у порівнянні з наземним контролем.

Як модельну систему для досліджень обрано взаємодію між проростками сої та *P. sojae*, що спричинює кореневу та стеблову гниль (Schmitthenner, 1985, 1989; Schmitthenner et al., 1994). Щорічно це призводить до втрат врожаю на 250 мільйонів доларів. Подібна колонізація тканин рослини-хазяїна патогеном відбувається протягом 24 годин при стійкому та сприйнятливому характері їх взаємодії. Пізніше колонізація стійких тканин припиняється і патоген локалізується лише в декількох шарах клітин (Keen & Yosikawa, 1983). Механізми стійкості тканин у

взаємодії *P. sojae* та сої вивчали головним чином при ураженні гіпокотилія та сім'ядолей (Frank & Paxton, 1971; Ebel, 1986; Graham & Graham, 1991 a, b). У цілому стійкість до *P. sojae*, обумовлена експресією *Rps* гена, корелює з гіперчутливою відповіддю (швидка локалізована загибель клітин у тканинах рослини-хазяїна) та накопиченням деяких сполук, асоційованих із захисною реакцією. Біохімічна основа стійкості тканин кореня досліджена значно менше, ніж гіпокотилія, хоча було показано, що в стійких тканинах кореня присутні гліоселін, аніонна пероксидаза та фенольні полімери. На відміну від інших тканин (Graham & Graham, 1991 c), стійкість кореня не потребує світла. Таким чином, коренева система є адекватною для порівняння взаємодії стійкого та сприйнятливого характеру.

Завдання включають порівняння процесу патогенезу коренів проростків сої в умовах мікрогравітації та наземному контролі у варіантах необроблених патогеном та інфікованих расою 1 (стійка) або расою 25 (сприйнятлива) *P. sojae*.

5.1. Вплив мікрогравітації на диференціювання та фототропізм протонемати мохів *Ceratodon* та *Pottia*

Акронім експерименту: **SPAM-A**

Головний дослідник: доктор Фред Сак (США)

Співвиконавець: доктор Волкер Керн

Обладнання: КБД-СВД

Категорія: автономний.

Протонемата моху відзначається виключно верхівковим ростом, тобто апікальна клітина протонемної нитки збільшується лише на верхівці. Протонемата мохів, наприклад *Ceratodon purpureus*, у темноті росте вверх, виявляючи негативний гравітропізм (Knight & Cove, 1991; Sack, 1993; Chaban, 1992). Цей тип клітин унікальний порівняно з клітинами будь-якого іншого організму, тому що ріст індивідуальної рослинної клітини повністю орієнтується за гравітацією. Таким чином, обидва процеси — сприйняття гравітації та відповідь — відбуваються у тій самій клітині. Перший здійснюється амілопластами (заповнені крохмалем пластидами), які осідають. Розподіл пластид по зонах є дуже складним щодо морфології пластид та їх локалізації (Walker & Sack, 1990, 1991; Young & Sack, 1992; Schwuchow et al., 1995). Такий складний розподіл органел продемонстрований, наприклад, в апікальних клітинах *Ceratodon* та *Pottia*, які росли у темноті (Walker & Sack, 1992; Chaban, 1992)). В разі горизонтального положення апікальної клітини амілопласти осідають до клітинної стінки, вертикального — розміщуються вздовж клітини (Schwuchow & Sack, 1993). Питання про те, чи відрізнятиметься розміщення амілопластів вздовж клітини за умов мікрогравітації від такого в гравітаційному полі, є ключовим. Мікротрубочки цитоскелету можуть брати участь як у здійсненні гравітро-

пічного згину, так і в контролі осідання пластид. Оскільки гравітація відіграє ключову роль у рості та організації цієї високоспеціалізованої клітини, важливо визначити, чи диференціювання клітин відбуватиметься нормально в умовах мікрогравітації.

Видиме світло пригнічує, але може не повністю усувати гравітропізм протонемі (Hartmann et al., 1983; Hartmann & Weber, 1990). Однобічне червоне світло індукує позитивний, опосередкований фітохромом, фототропізм (Hartmann & Weber, 1990; Demkiv et al., 1995). Тому, протонемата *Ceratodon* є чудовою системою для вивчення дії гравітації на клітинну організацію, оскільки світло впливає на диференціювання клітин. Оскільки ці клітини виявляють фото- і гравітропізм, експеримент у космічному польоті дає можливість вирішити питання, чи можуть вони відбуватися одночасно.

Завданнями експерименту є: 1) дослідити вплив мікрогравітації на диференціювання клітин; 2) з'ясувати роль гравітації у розміщенні пластид, особливо якщо зонація амілопластів за довжиною клітини відрізняється в земних умовах та умовах мікрогравітації; 3) оцінити фототропічну відповідь протонемі у відсутності ускладнюючої гравітаційної сили; 4) визначити спрямованість росту протонемі в умовах мікрогравітації в темноті: чи буде верхівковий ріст прямим, чи збільшуватиметься нутація протонемі (хвилястоподібний ріст) у відсутнос-

ті орієнтуючого сигналу гравітаційного вектора. Якщо це так, то можна передбачити, що інший однобічний сигнал (червоне світло) зменшуватиме хвилястий ріст; 5) порівняти відповіді двох видів моху *Ceratodon* та *Pottia*.

Перед запуском вегетативні фрагменти протонемати мохів (*Ceratodon*: дикий тип та "неправильний" мутант) мають стерильно переноситися на агар, який містить поживні речовини та сахарозу. Чашки Петрі з *Pottia* (дикий тип) готуватимуться окремо групою Ореста Демківа. Чашки Петрі (54 чашки, 6 см у діаметрі) вміщуються в КБД. Кожна чашка в каністрі містить одне джерело червоного світла (660 нм), яке окремо включається та виключається. Після 7 діб польоту 300—400 протонемат мають розвинутися та бути готовими до освітлення. Водночас з експериментом Ореста Демківа з *Pottia* планується 18 окремих світло/темнота обробок, по три чашки кожна. Обробки включають контрольні зразки (залишаються у повній темноті протягом 7 та 16 діб), короткочасне освітлення (2, 12, 24, 48 годин), короткочасне освітлення з наступною темнотою (2 + 2 години, 2 + 24 години) та тривале освітлення (7 та 16 діб). Наприкінці кожної обробки протонемата має хімічно фіксуватися на орбіті.

Після приземлення зразки фотографуватимуться та заливатимуться у смолу для досліджень методами світлової та електрон-



ної мікроскопії, а також планується вимірювати кут всіх верхівкових клітин у чашці по відношенню до джерела світла. Диференціювання клітин дикого типу та "неправильного" мутанта *Ceratodon*, а також дикого типу *Pottia* планується оцінювати за такими параметрами, як зонація пластид, морфологія пластид, галуження субапикальних клітин та ступінь вакуолізації.

5.2. Вплив червоного світла та мікрогравітації на ультраструктуру протонемати *Ceratodon* та *Pottia*

Акронім експерименту: **SPAM-B**

Головний дослідник: д.б.н. Орест Демків (Україна)

Співвиконавці: к.б.н. Христина Чабан, к.б.н. Олександра Кардаш, к.б.н. Ярослава Харкавців, к.б.н. Роман Рипецький (Україна)

Обладнання: КБД-СВД.

Категорія: спільне використання тканин.

Плануються порівняльні ультраструктурні дослідження верхівкових клітин протонемати мохів *Ceratodon purpureus* та *Pottia intermedia*, яка росла за умов мікрогравітації та в наземному контролі. Культури мають рости в постійній темноті або освітленні через певні періоди червоним світлом з довжиною хвилі 660 нм та наступними темновими періодами.

Ростові реакції протонемати чітко виявляють адаптивний характер. В разі білого світла вона зростає на поверхні субстрату, в темноті — догори, негативно гра-

вітропно. Такі відмінності демонструють тісний зв'язок між цими факторами у ростових реакціях. Заплановані експерименти дозволяють проаналізувати не лише тонку структуру апікальних клітин протонемати в умовах мікрогравітації, але й визначити ультраструктурні зміни, спричинені червоним світлом, та поновити ростові градієнти, що анулюються опроміненням червоним світлом.

Для польотного експерименту як похідний матеріал використовуватимуться стерильні культури мохів *Ceratodon* та *Pottia*, які ростуть в контрольованих умовах (20 °C, 80—90 % відносної вологості, 16/8 годин, біле світло/темнота, 60 мм чашки Петрі, середовище Кноппа). Для підготовки польотних культур висівають спори, потім фрагменти протонемати, яка виростає, переносяться в нові чашки Петрі. 12 чашок з *Pottia* протягом 5—7 діб мають знаходитися на білому світлі, а після перевірки їх стану поміщатися в КБД. Бажано, щоб перед запуском культури знаходилися у холодильнику. Зразки *Ceratodon* для польоту готуватимуться окремо, якомога ближче до запуску. Протонемата мохів протягом перших 6—7 діб на орбіті повинна адаптуватися до темноти. Опромінення червоним світлом починатиметься на 8-му добу польоту. *Ceratodon* та *Pottia* оброблятимуть паралельно: 1) контрольні зразки залишаються у темноті, 2) всі інші чашки опромінюються бічним чер-

воним світлом протягом 2-х годин, 3) проводиться фіксація протонемати: а) відразу після опромінення, б) через 2 години та в) через 24 години після відповідного періоду темноти.

Після приземлення весь матеріал потрібно фотографувати, заливати у смолу для світлової та електронної мікроскопії в лабораторії Фреда Сака в Огайо. Матеріал для електронної мікроскопії потім надішлють в Україну для подальших досліджень ультраструктури. Вивчатиметься характер росту протонемати в темноті, фототропізм та ауто-тропізм після опромінення червоним світлом.

6. Вплив мікрогравітації на структуру, функцію та організацію клітин кореня *Brassica rapa*

Акронім експерименту: **ROOTS**

Головні дослідники: доктор Мері Масгрейв (США), д.б.н. Єлизавета Кордюм (Україна)

Співвиконавці: к.б.н. Геннадій Мартин, Віктор Заславський (Україна)

Обладнання: УВР.

Категорія: спільне використання тканин.

Гравірецепторний апарат кореня формується в умовах мікрогравітації, але не функціонує за відсутності гравітаційного вектора. Попередні дослідження переважно проводили на 2—4-добових проростках (Sievers et al., 1976; Tarasenko et al., 1982; Volkmann et al., 1991; Todd et al., 1992). У даному експерименті планувалося дослідити струк-

турно-функціональну організацію гравірецепторних клітин чохлаків головного (зародкового) та бічних коренів у проростків, різних за віком, які формувалися в умовах мікрогравітації, та вивчити структурно-функціональну організацію клітин різних ростових зон власне кореня.

Завданнями досліджень були: 1) порівняння перебудов клітинних органел у процесі диференціювання клітин в умовах мікрогравітації з такими при кліностагуванні та в стаціонарному контролі; 2) визначення вмісту РНК та ДНК у клітинах різних ростових зон кореня; 3) вивчення вуглеводного метаболізму; 4) оцінка ступеня розвитку кореневої системи (довжина головного кореня, довжина та кількість бічних коренів). Планується визначення редокс-потенціалу в середовищі перед відбором коренів, застосування світлової та електронної мікроскопії, морфометрії тощо, а також визначення вмісту білків, активності та локалізації ферменту алкогольдегідрогеназа.

Досліджуватимуться корені двох популяцій: рослини першої популяції доставляються на орбіту перед цвітінням, для одержання другої популяції на орбіту доставляється сухе насіння, яке зволожується після виходу корабля на орбіту та починає проростати в умовах мікрогравітації. Певна частина проростків другої популяції *Brassica rapa* фіксується або заморожується на орбіті, інші спускаються у живому стані.

Планується проведення аналізу окремих корневих систем за допомогою морфометричних методів та мікроскопічних досліджень. Для аналізу ферментів кореневу систему (один зразок з кожної ростової камери) зважуватимуть перед подальшою обробкою, результати перерахуватимуть на сиру масу та вміст білка, редокс-потенціал середовища, в якому росли корені, як індикатор насичення киснем визначатиметься в кожній ростовій камері перед відбором коренів.

7. Вплив космічного польоту на генну експресію у тканинах *Brassica rapa* та сої
Акронім експерименту: **GENEX**

Головний дослідник: к.б.н. Віктор Пріма (Україна)

Співвиконавці: доктор Уільям Пьястуч (США), к.б.н. Олена Мартиненко (Україна)
Обладнання: УВР та КБД-60.

Категорія: спільне використання тканин.
Успішне існування всіх живих організмів залежить від їх здатності координувати зміни у процесі розвитку, відчувати та відповідати на флуктуації навколишнього середовища. Сила земного тяжіння є одним з найбільш сталих екологічних факторів. Тому її зміни можуть мати стрес-подібний вплив на рослинні клітини. Відносно шляхів передачі сигналу, який керує відповідями рослинних клітин на зміни гравітації, інформації недостатньо. Індукована ауксином родина *SAUR* генів досліджувалася в попередніх експериментах з проростками сої та

арабідопсису. Було показано, що в гравістимульованих проростках відбувається асиметрична акумуляція транскриптів *SAUR* у клітинах, які повинні розтягуватися, ще перед видимим згинанням кореня.

Завданням цього експерименту є аналіз тканин *Brassica rapa* та сої на виявлення трансмедіаторів у шляхах трансдукції сигналу мікрогравітації порівняно зі стаціонарними умовами. Плануються дослідження вмісту в клітинах високо- та низькомолекулярних білків, специфічних РНК або РНП, продуктів різних типів генів, які мають відношення до стресу, зокрема убіквітину, а також кореляції різних типів ядерних та цитоплазматичних РНП.

Проростки *Brassica rapa* мають заморожуватися на орбіті після перебування в умовах мікрогравітації. Цей матеріал планується для досліджень кінетики впливу космічного польоту на генну експресію в рослинах, які росли на орбіті.

Після приземлення з рослинного матеріалу екстрагуюватимуться РНК та білки, визначатиметься їх кількість з наступним фракціонуванням та електрофорезом в агарозному гелі. Застосовуватиметься Нозерн блот-гібридизація із специфічно міченими ДНК-пробами для визначення наявності РНК для різних генів, задіяних у відповідях на зовнішні сигнали. За допомогою полімеразної ланцюгової реакції ампліфікуватимуться гени, які кодують різні типи білків,



що мають відношення до стресу, та генів, які кодують ключові ферменти. Якщо мікрогравітація сприймається рослиною як стрес, то можлива індукція клітинних протоонкогенів, генів убіквітину, білків теплового шоку або інших протекторних білків. Важливо дослідити експресію генів з родини *SAUR* у різних частинах рослин в умовах мікрогравітації. Результати цих досліджень порівнюватимуться з експериментами, проведеними в стаціонарних умовах або в умовах кліностакування.

8. Вплив умов космічного польоту на вміст амінокислот у тканинах *Brassica rapa*.

9. Вплив умов космічного польоту на вміст фітогормонів у тканинах *Brassica rapa*.

10. Вплив умов космічного польоту на вміст ліпідів у тканинах *Brassica rapa*.

Акроніми експериментів: **AMINO**, **PHYTO** і **LIPIDS**.

Головний дослідник: д.б.н. Єлизавета Кордюм (Україна).

Співвиконавці: **AMINO**:

д.б.н. Тетяна Черевченко (Україна), к.б.н. Наталья Заїменко (Україна), к.б.н. Наталья Ситнянська (Україна),

PHYTO:

д.б.н. Людмила Мусатенко (Україна), к.б.н. Валентина Генералова (Україна), д.б.н. Тетяна Черевченко (Україна).

LIPIDS:

к.б.н. Олена Золотарьова (Україна), Наталя Михайленко (Україна).

Обладнання: УВР.

Категорія: спільне використання тканин.

Вміст вуглеводів, фітогормонів та амінокислот у рослинних тканинах є дуже чутливим до зовнішніх впливів, його зміни можуть бути індикаторами відповідей рослин на стрес. Так, в умовах затоплення, тобто анаеробіозу, в тканинах кореня накопичуються специфічні амінокислоти і така сполука, як 4-амінобутират. Таким чином, визначення кількості цих речовин та фітогормонів, які беруть участь у клітинних сигнальних подіях, має надавати інформацію про стан рослин в умовах космічного польоту.

AMINO: Як відомо, процес синтезу вільних амінокислот та вуглеводів, енергетичний баланс та азотний метаболізм взаємопов'язані. Утворення кожної амінокислоти є результатом певних енергетичних процесів, на які впливають фактори зовнішнього середовища. Тому дослідження впливу мікрогравітації на синтез амінокислот дадуть можливість проаналізувати енергетичний стан метаболічної активності в умовах космічного польоту. Планується аналіз свіжих тканин після польоту.

PHYTO: Компоненти гормонального комплексу рослин беруть участь у регуляції їх росту та розвитку. Фітогормони стимулюють або пригнічують ріст рослин залежно від їх концентрації в тканинах. Основними рістрегулюючими речовинами є ауксини,

гібереліни, цитокініни та абсцизова кислота. Визначення цих речовин можливе за допомогою рідинної хроматографії високого тиску та біотестів. Рослини заморожуватимуться у польоті.

LIPIDS: У рамках запропонованого експерименту плануються дослідження кількох біохімічних параметрів фотосинтетичного апарату в клітинах, зокрема вмісту ліпідів та жирних кислот, каротиноїдів, а також вмісту АДФ і АТФ у хлоропластах. Рослини повертатимуться у живому стані і досліджуватимуться після польоту.

Матеріал для цих досліджень буде отриманий з трьох ростових камер, в які поміщали насіння перед стартом. Рослини заморожуватимуться в польоті або повертатимуться в живому стані. Одержані з них екстракти після польоту транспортуватимуть у Київ, де за допомогою різних методів визначатимуть в них кількість і склад амінокислот, фітогормонів і ліпідів. Очікується підвищення вмісту в тканинах стресових гормонів, наприклад абсцизової кислоти, та 4-амінобутирату як індикатора стресу, якщо припущення, що мікрогравітація сприймається рослиною як стрес та корені, що ростуть, знаходяться в мікроаерофільних умовах (згідно з недавніми результатами Масгрейв з колегами), підтвердяться.

ОПИС ПРИЛАДІВ

У СУАЕ планувалося використання приладів, вже апробованих у попередніх польотах, і нових, включаючи модифіковані контейнери для біологічних досліджень, пристрої для хімічної фіксації та заморожування зразків у рідкому азоті. Установа для вирощування рослин у 87-й місії забезпечує контроль зовнішнього середовища в шести ростових камерах, які в ній знаходяться, контролює та підтримує вологість, температуру та рівень CO₂. У контейнерах для біологічних досліджень містяться каністри різного розміру, в яких середовище для біологічних експериментів підтримується пасивно. Планується використання двох типів каністр. Перший набір складається з п'яти пасивних каністр (КБД) 60 мм у діаметрі для використання в автономних експериментах SOYMET та SOYPAT. Другий набір складається з семи модифікованих каністр, які забезпечать різні світлові обробки зразків через світловопромінюючі діоди (СВД) у космічному польоті та використовуватимуться в експерименті SPAM.

Оскільки фіксуючі пристрої також потрібні для виконання СУАЕ, питання про розробку нових фіксуючих пристроїв обговорювалося групою розробки корисного вантажу в космічному центрі ім. Кеннеді. Зразки мали заморожуватися у газовому азотному мо-

розильнику, в якому вони зберігаються при температурі — 196 °С протягом 8—10 діб. Частиною корисного вантажу також мають бути комплекти інструментів для запилення квіток, поливу, відбору і заморожування зразків та збору матеріалу.

РОЛЬ УКРАЇНСЬКОГО КОСМОНАВТА-ДОСЛІДНИКА

Підкреслювалася необхідність тренування українського спеціаліста по запиленню квіток та фіксації зразків відповідно до основної частини експерименту. Якість інформації, що має бути одержана в інших експериментах, залежить від здатності спеціаліста фіксувати або заморожувати частини рослин на орбіті для наступного аналізу на Землі, його тренуваності та злагодженої дії. Перед космонавтом ставилися завдання: 1) знімати кришки з ростових камер та запилювати квітки протягом декількох діб відповідно до протоколу експерименту; 2) збирати квітки для фіксації в певні дні; 3) використовувати ємність для зберігання матеріалу в польоті; 4) використовувати комплекти інструментів для збору та заморожування матеріалу в польоті; 5) стежити за умовами у ростових камерах та усувати несправності в разі необхідності. Космонавт мав тренуватися у відповідних лабораторіях України та США, щоб бути готовим для та-

кої діяльності, а також тренуватися з дослідниками на борту КС-135.

Крім того, український космонавт мав відігравати вирішальну роль у виконанні планів освітньої діяльності, яка супроводжувала місію. *Brassica rapa* є поширеною у світі модельною системою для вивчення фізіології рослин, розвитку, клітинної фізіології та репродукції. Робоча нарада, яка планувалася для підвищення кваліфікації вчителів, використовувала здатність спеціаліста спілкуватися з вчителями в Україні та через передачу даних з орбіти на Землю полегшувати спілкування з українськими учнями. Привабливість та ентузіазм космічної біології разом із модельною системою "швидкі рослини" для вивчення біології рослин, безперечно, стимулюють молодь та приваблюють здібних студентів до роботи в науці та інженерії.

ОСВІТНЯ ПРОГРАМА

Учні мали унікальну можливість брати участь в реальному космічному науковому експерименті, проводячи наземні дослідження. Одночасно з дослідями в космосі учні та вчителі України і США досліджували в земних умовах ті самі явища (пророщування насіння, ріст та розвиток рослин, запилення, запліднення тощо). Велика кількість учасників вельми важлива для успішного виконання



експерименту, оскільки його результати залежать від статистичної обробки всіх наземних даних. Очікувалася участь не менше 20.000 як американських та українських учнів. Велика попередня робота, що її провели координатори з Малої академії наук (науковий керівник Володимир Назаренко) та з Державних еколого-натуралістичних центрів (керівник Володимир Вербицький) довела можливість успішного виконання експерименту учнями в звичайних умовах наукового гуртка. НКАН забезпечило видання українського перекладу "Вчителя та учні досліджують рослини в космосі" для вчителів-координаторів (1500 примірників) та посібника для учнів-учасників експерименту (10 тисяч примірників). Кращим учасникам експерименту буде надана можливість взяти участь у прямому телемові Київ — Хьюстон — борт космічного корабля Колумбія та задати питання українському космонавту-досліднику.

НАУКОВИЙ ПЕРЕВІРОЧНИЙ ТЕСТ

Науковий перевірочний тест (НПТ) підготовки СУАЕ проводився в космічному центрі ім. Кеннеді з 22 вересня по 16 жовтня 1996 р. Його головною метою була стимуляція всієї діяльності американських та українських учасників СУАЕ, які зустрілися

і перебували в Космічному центрі протягом проведення космічного експерименту.

НПТ також мав на меті перевірку готовності команд головних наукових дослідників до запровадження критеріїв успіху експерименту та виконання всіх процедур СУАЕ. Робота включала виконання передпольотних та післяпольотних процедур і симуляцію місії на орбіті. Головний дослідник — науковий координатор проекту та контракту гарантії якості — мав перевірити якість дослідних рослин для забезпечення головних дослідників достатнім матеріалом. Симуляція запуску корабля планувалася на 28 вересня 1996 р., а початок передпольотної діяльності — на 23 вересня 1996 р., тривалість "польоту" — 16 + 1 діб.

Симуляція передпольотної діяльності. Дослідники США та України були готові для проведення симуляції місії у повному обсязі (16 діб). Запуск був призначений на 8-му годину ранку 28 вересня. Дослідники обох країн у передпольотний період провели перевірку зразків та процедур, внаслідок чого ряд процедур відхилили або змінили.

Симульовані прийомо-здаточні випробування. Зразки були передані інженерам з корисного вантажу для випробування у тій самій часовій послідовності, яка планувалася для польоту. Зразки були зважені та задокументовані, тому головні виконавці могли бачити стандартний процес останнього прийомо-здаточного випробування

корисного вантажу. Зразки для СУАЕ мали проходити через той самий процес перед передачею до підйомного блоку та завантаження у панель всередині кабіни шатла. Передача зразків до симулятора оточуючого середовища на орбіті в Космічному центрі відбувалася після прийомо-здаточного випробування.

Симуляція польотного моніторингу. Для дослідників, які відповідали за моніторинг експериментів СУАЕ, були організовані тренування відповідно до протоколів НАСА про польотне спілкування та моніторинг. Були проведені екскурсія зоною моніторингу експериментів, що знаходилася поза орбітальним симулятором, і тренування з обладнанням, яке використовувалося. Члени команд головних дослідників були дублерами спеціаліста з корисного вантажу протягом симуляції діяльності на орбіті. У додаток до нормальної діяльності (після її перевірки та наступного удосконалення польотних процедур та часового графіка СУАЕ) командам головних дослідників пропонувалися нестандартні ситуації у формі "зелених карт". Такі практичні проблеми (не були симульовані в експериментах, лише на папері) обговорювалися вченими та групою підтримки Космічного центру, які входили до складу групи планування наукової діяльності СУАЕ. На щоденних засіданнях розглядалися стан виконання експерименту та можливі рішення практичних проблем позаштатних ситуацій.

Симуляція приземлення та повернення зразків. Після симульованого приземлення зразки повертали дослідникам для розподілу та аналізу. Дослідники виконували процедури збору матеріалу, розподілу рослинних тканин та їх доставки, "післяпольотного" аналізу зразків.

16 жовтня 1996 р. відбулося засідання Робочої групи з питань НПТ СУАЕ, яке відкрила менеджер місії Сінді Мартін. Вона сказала, що метою засідання є стан підготовки корисного вантажу і надала слово координатору корисного вантажу місії СУАЕ Ріні Томсон. Було підкреслено, що НПТ пройшов дуже успішно. Численні доповіді дослідників США та України про результати, одержані ними у НПТ, представлені в "Наукових записках" № 7—10 (вересень, 1996 — квітень, 1997).

1997

✦ Перевірочний тест з корисного вантажу: *квітень, травень.*

✦ Президент України видає Указ "Про заходи щодо забезпечення підготовки та проведення спільних українсько-американських експериментів на борту космічного корабля "Шатл", *28 липня.*

Склад Державної комісії: Тігіпко Сергій Леонідович — Віце-прем'єр України, голова Держкомісії, Негода Олександр Олексійо-

вич — генеральний директор Національного космічного агентства України, заступник голови Держкомісії. Члени комісії: Згуровський Михайло Захарович — Міністр освіти України, Кулик Зіновій Володимирович — Міністр інформації України, Мітюков Ігор Олександрович — Міністр фінансів України, Остапенко Дмитро Іванович — Міністр культури і мистецтв України, Патон Борис Євгенович — Президент Національної академії наук України, Удовенко Геннадій Осипович — Міністр закордонних справ України, Худолій Дмитро Андрійович — Голова Державного комітету зв'язку України.

✦ Місія 87 на борту космічного корабля Колумбія, *19 листопада — 5 грудня.*

ПЕРЕВІРОЧНИЙ ТЕСТ З КОРИСНОГО ВАНТАЖУ

18-добовий перевірочний тест з корисного вантажу (ПТКВ), успішно завершений 19 травня 1997 р. у Космічному центрі ім. Кеннеді, охопив багато сфер діяльності в межах СУАЕ. Польотне обладнання було зібране для "польотного" та наземного контрольного комплектів. Комплектування зайняло багато часу, оскільки вимагало спільної участі всіх інженерів, менеджерів місії та наукових груп проекту і було добре підготовлено. Завдяки цьому комплектом приладів було легко користуватися під час підготовки до по-

льоту. Вся наукова команда СУАЕ брала участь у підготовці та проведенні цієї місії. Участь дослідників у моніторингу процедур була корисною для вдосконалення операцій та тренування екіпажу. Проведення ПТКВ дало можливість дослідникам США та України обмінятися результатами своєї роботи у вітчизняних лабораторіях. В цей час відбулося багато імпровізованих засідань, на яких обговорювалися поточні та майбутні дослідження. Два кандидати на спеціаліста з корисного вантажу виконали всі процедури в умовах, подібних до польотних, протягом семи перших діб проведення тесту. Команда СУАЕ була задоволена їхньою участю та вдячна за коментарі щодо удосконалення процедур, які мав виконувати екіпаж.

Результати тесту сприяли вдосконаленню установки для вирощування рослин та контейнерів для біологічних досліджень із світловипромінюючими діодами. Контроль за температурою та вмістом CO₂ був значно поліпшений завдяки змінам траєкторії потоку повітря та ізоляції. У каністри для біологічних досліджень був вставлений вентилятор для зниження температури в ньому. Мета тесту була виконана на "відмінно".

Під час ПТКВ відбулося засідання Робочої групи з корисного вантажу в Космічному центрі ім. Кеннеді, на якому обговорювали стан наукових досліджень, обмінювалися інформацією та розглядали польотні плани і графіки.

Тест проводили у симуляторі оточуючого середовища на орбіті, запрограмованому на умови 87-ї місії. Були зібрані дані про кількість живильної рідини, використаної рослинами, про масу зібраної тканини наприкінці тесту та кількість стручків та насінин, які утворилися на рослинах в експерименті B-STIC ("Наукові записки" № 11, травень — червень).

19 ЛИСТОПАДА: НАБЛИЖЕННЯ

Командиром 87-ї місії був призначений Кевін Р. Крегель, для якого цей політ був третій, а для пілота Стівена У. Ліндсея — перший. До складу трьох спеціалістів місії входили: Калпана Чавла як спеціаліст-1 (перший політ), спеціаліст-2 Уінстон Е. Скотт (другий політ), спеціаліст-3 мав бути Такао Дот від Японського космічного агентства — перший японський космонавт та другий учасник польоту — не громадянин США, для якого цей політ був першим. Леонід Каденюк від НКАУ мав здійснити свій перший політ як спеціаліст з корисного вантажу-1, перший українець на борту космічного шатла.

Spaceport News
(т. 36, № 16, 1996)

Під заголовком "Українці готують місце в історії" писали, що "першого українського

космонавта, який полетить на шатлі, може чекати місце в історії його країни, подібне до того, яке займають астронавти в США. Хоча українці літали в космос раніше, але вони завжди були радянськими космонавтами, ніколи як представники своєї власної країни".

"У цілому, це громадянський духовний підйом, українець знову полетить у космос" — сказав полковник Леонід Каденюк, один з двох кандидатів від Національного космічного агентства України на посаду спеціаліста з корисного вантажу у 87-ї місії шатла в жовтні 1997 р.

NASA, Press Kit, November 1997, Space Shuttle Mission STS-87

"Запуск Колумбії був призначений на 19 листопада 1997 р. з Космічного центру ім. Кеннеді НАСА, комплекс запуску 39-В. Тривалість польоту Колумбії мала становити 15 діб, 16 годин та 34 хвилини. При своєчасному запуску 19 листопада та означеній тривалості місії Колумбія повинна була приземлитися в Космічному центрі 5 грудня близько 7 20 ранку.

У день запуску підйом Колумбії на орбіту протягом восьми з половиною хвилин відрізнявся від усіх попередніх запусків шатла. Активний період польоту спочатку проходив, як і раніше, з маневром обертання "голови вниз" майже одразу після старту та відділення ракети-носія через дві хвилини

після старту. Проте на шостій хвилині польоту поступово протягом 20 секунд був здійснений другий маневр — обертання до положення "голови вгору", який дозволив шатлу вийти на спілкування із системою супутникового стеження. З використанням цієї системи відпала потреба у підтримці Бермудської станції спостереження, що зберегло певні кошти НАСА.

Місія-87 стала 24-м польотом Колумбії та 88-ю місією з початку Програми космічного шатла у квітні 1981 р.

Сценарій 87-ї місії включав операції з Програми космічного шатла, які мали відбуватися від часу передачі корисного вантажу до НАСА до повернення корисного вантажу, зокрема передпольотні, польотні та післяпольотні операції. Треба підкреслити, що для об'єктів СУАЕ критичним був час досягнення мікрогравітації, тобто вони мали досягнути мікрогравітації якомога скоріше після розміщення в УВР та КБД. Передача об'єктів до НАСА перед розміщенням їх в польотному обладнанні не повинна була перевищувати 3-х годин. Цей період визначався необхідністю скорочення до мінімуму часу між розміщенням рослин в обладнанні та досягненням мікрогравітації.

Наземний сценарій охоплював передпольотні, орбітальні та післяпольотні операції. Наземні контрольні операції мали симулювати перед/післяпольотні та орбітальні умови та вимоги. Затримка часу до наземних

контрольних операцій становила 48 годин після запуску. Симулятор оточуючого середовища на орбіті використовували протягом симульованого польоту. Зразки та обладнання використовували в наземному контролі в симуляторі той самий час, що і на орбіті, після чого їх аналізували. Були також визначені вимоги до періодів голосового зв'язку для СУАЕ".

Хоча наша команда СУАЕ була добре підготовлена для проведення космічного біологічного експерименту завдяки Науковому перевірконому тесту, Перевірконому тесту з корисного вантажу та роботи в лабораторіях, ми, звичайно, хвилювалися та з нетерпінням чекали старту. Перш за все, старт мав відбутися за льотної погоди, і 19 листопада ми із 7-ї години ранку слідували за повідомленнями про погоду, яка весь час змінювалася. На щастя, старт здійснився, та Колумбія вийшла на орбіту. На старті Колумбії була присутня Українська урядова делегація, ояолювана Президентом України Леонідом Кучмою. До складу делегації входили генеральний лиректор НКАУ Олександр Негода, президент Національної академії наук України Борис Патон, генеральний директор Державного конструкторського бюро "Південне" Юрій Алексєєв, заступник генерального директора НКАУ Едуард Кузнєцов, директор Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України Костянтин Ситник та ін. Також прибули до

Космічного центру ім. Кеннеді директор Інституту фізіології рослин та генетики Володимир Моргун та директор Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НАН України Тетяна Черевченко. Ввечері НКАУ влаштувало прийом на честь цієї чудової події. Одразу ж виникли питання, як космонавти почувають себе, як наші об'єкти перенесли підйом, як вони почуваються на орбіті, як Леонід Каденюк маніпулює з ними. З великим нетерпінням та хвилюванням ми чекали першої інформації з орбіти. В наступні дні ми регулярно отримували інформацію, яку систематично висвітлювала преса, наприклад:

СУАЕ: З-тя доба польоту "Завдання Спільного українського експерименту виконуються успішно.

Інформація з орбіти щодо росту рослин в установці для їх вирощування вказують на їх відмінний стан. Ці постійні дані допомагають наземній команді передбачати вимоги для таких технологічних процедур, як зміна фільтрів для CO₂ та видалення води. Установа для вирощування мохів продовжує добре функціонувати, забезпечуючи низький рівень світла з діодів для зразків.

Успішно здійснюється запилення квіток у ростових камерах 4, 5 та 6 спеціалістом з корисного вантажу Леонідом Каденюком. Одержано фотознімки рослин в експериментах В-РАС, ростових камер 1—3, та В-STIC, ростових камер 4—6.

Значну увагу приділено експерименту SOYPAT. Зразки газу відібрали з двох із чотирьох каністр, які містили проростки сої. Наступною процедурою було перше збирання рослинного матеріалу. З пакетів, які знаходилися в каністрах, було взято 24 проростки, які поділялися на дві групи. Одну групу заморожували у газоазотному морозильнику для післяпольотного аналізу. Другу поміщали у шість фіксуєчих трубок, створених в Космічному центрі, для зберігання в хімічній суміші.

Ми регулярно висвітлюємо окремі аспекти місії СУАЕ з метою глибшого пізнання наукових основ експериментів, пояснення складності приладів або вирішення особливо цікавих питань, зокрема газоазотного морозильника. Однією з типових вимог корисного вантажу, подібного до СУАЕ, є зберігання тканин у польоті, в цьому разі — рослинної тканини. Зразки, взяті з живих рослин на орбіті, повинні миттєво фіксуватися для зберігання, що звичайно здійснюється одним з двох методів: хімічною фіксацією або криогенним заморожуванням. Кожний метод має свої переваги.

При криогенному заморожуванні жодна хімічна речовина не проникає в тканину, що робить цей метод ідеальним для післяпольотного біохімічного аналізу. Заморожування є важкою проблемою в космічному польоті. Звичайний компресорний холодильник, подібний до побутового, шумить,



споживає багато енергії, дає недостатньо низьку температуру за науковими стандартами та ненадійний у космічному польоті. Газоазотний холодильник є оригінальним рішенням цієї проблеми. Протягом місії газоподібний азот повільно виходить з морозильника у кабінку, що нешкідливо для космонавтів. НАСА використовує такі пасивні морозильники багато років, але до СУАЕ морозильники на орбіті використовували лише протягом 13 діб. Морозильник у місії СУАЕ більший, він здатний підтримувати кріогенну температуру до трьох тижнів, що робить його ідеальним для тривалої місії, подібної до СУАЕ".

СУАЕ: 9-та доба польоту "9-та доба польоту продовжує безперервний успіх СУАЕ. Всі прилади працюють добре. Перевірка стану УВР та КБД в експерименті з мохами засвідчили їх відмінну роботу.

Сьогодні робота з рослинами в УВР була легкою. Запилено квітки рослин у камерах 4—6, проте квіток було менше, оскільки на рослинах вже формувалося насіння. Рослини в ростових камерах 1—3 в експерименті В-РАС продовжували рости добре. Екіпаж передав кілька відеознімків, на яких видно, що деякі насінини, поміщені в ростові камери на 8-му добу польоту, почали проростати перед посівом. Причина передчасного проростання невідома. Вчені здивовані, але не передбачають будь-якого впливу цього факту на експеримент.

Третя хімічна фіксація рослин в експерименті із мохами була проведена на 9-ту добу. Використовуючи пристрій у вигляді металевого пістолета, спеціаліст з корисного вантажу успішно зафіксував деякі зразки. Інші зразки залишено для пізнішої фіксації протягом польоту. Крім того, освітлення діодами зразків моху за вимогами дослідників було перенесено в іншу схему. Просимо ознайомитися з повідомленнями преси про 8-му добу польоту, де детально описано функціонування каністр для біологічних досліджень із світловипромінюючими діодами, в яких проводиться експеримент з мохами.

Сьогодні визначною подією для української нації став телефонний дзвінок Президента України Леоніда Кучми до спеціаліста з корисного вантажу Леоніда Каденюка. Президент поздоровив полковника Каденюка за його досягненнями та побажав подальшого успіху в проведенні операцій СУАЕ. Після цього відбулася коротка прес-конференція з представниками ЗМІ в Києві, яку транслювали по телебаченню на всю Україну".

Особливо важливою для нас були дані про умови, які створилися у ростових камерах установки для вирощування рослин, оскільки це було необхідним для підтримання відповідних умов у симуляторі оточуючого середовища на орбіті. З таким же хвилюванням ми чекали приземлення Колумбії, тому що існував варіант приземлення шатла в Каліфорнії, якщо в Космічному

центрі ім. Кеннеді буде нельотна погода. Така ситуація створювала б серйозні труднощі для своєчасної обробки експериментального матеріалу. Але експеримент СУАЕ завершився добре. Завдяки відмінному виконанню польотного сценарію Леонідом Каденюком вчені одержали чудовий матеріал для наступних аналізів у наземних лабораторіях.

Під час перебування Леоніда Каденюка на орбіті 32 учня брали участь у телемові з космонавтом-дослідником, який відповідав на запитання учнів, наприклад: 1) яким був Ваш шлях в космонавтику, коли у Вас вперше з'явилося бажання стати космонавтом? 2) Чому особисто Вас відібрали до польоту? 3) Перебуваючи у Сполучених Штатах, чи згадуєте Ви свою країну? Якщо так, що згадуєте найчастіше? Міста? Природу? Друзів? Рідних? 4) Працюючи з рослиною *Brassica rapa*, чи з'явилося у Вас якесь почуття до неї як до партнера по експерименту? Чи розмовляєте Ви з нею подумки? 5) Скільки часу триватиме експеримент з рапсом? 6) Які інші експерименти Ви проводите в даний час? 7) Чи є у Вас вільний час в космосі? 8) Скільки часу Ви готувались до цього польоту? 9) Що Вам давалося найважче під час підготовки до польоту? 10) Чи є у Вас діти і де вони навчаються? 11) Як у космосі вирішується бажання побути на самоті? 12) Ваша відчуття після того, як Ви дізналися, що саме Вас обрали для космічного

польоту? 13) Яке майбутнє цього проекту в практичному відношенні? 14) Чи проводяться подібні експерименти на інших рослинах? 15) Чи вважаєте Ви цей проект важливим? Чому? 16) Які ще організми перебувають з Вами на орбіті? 17) Чи є сподівання отримати рослини-мутанти під час експерименту в умовах мікрогравітації?

Делегація виконавців Освітньої програми у складі 9 учнів, 2-х вчителів та наукового керівника від України Володимира Назаренка побувала на старті шатла Колумбія, де учні зустрілися з Президентом України Леонідом Кучмою, звітували автору Освітньої програми Полу Вільямсу, поспілкувалися зі своїми американськими колегами та мали можливість зробити цікаві освітньо-пізнавальні екскурсії і подорожі, запропоновані співробітниками Космічного центру ім. Кеннеді Томом Дрешелом та Пітером Четиркіним.

КОМЕНТАРІ ПРЕСИ

*NASA, PRESS KIT, November 1997,
Space Shuttle Mission STS-87*

"З усіх ресурсів, доступних у дослідженні космосу, лише рослини є джерелом регенерації їжі в тривалих польотах. Рослини також використовуються для регенерації кисню, видалення двоокису вуглецю та

очищення води через транспірацію та конденсацію. Тому вирішальними є знання про ріст рослин у космічному польоті. Мікрогравітація пропонує науковцям умови, в яких вони можуть аналізувати ріст і функціонування рослин за відсутності гравітації, з'ясовуючи таким чином вплив гравітації на живі системи. Частиною СУАЕ були завдання, які включали порівняння змін в ультраструктурі, біохімічному складі та функціонуванні, спричинених впливом умов космічного польоту на фотосинтетичний апарат проростків *Brassica rapa* на різних стадіях вегетативного розвитку. Особливо науковців хвилювало питання щодо можливості нормальної репродукція рослин за умов мікрогравітації.

Протягом 87-ї місії науковці в США та Україні проведуть спеціальні наукові експерименти з біології рослин. Учні матимуть можливість спілкуватися з космонавтом, який виконуватиме експеримент за умов мікрогравітації на борту космічного шатла Колумбія. Освітній компонент СУАЕ "Вчителі та учні досліджують рослини в космосі" дозволить учням у Сполучених Штатах та Україні запліювати рослин *Brassica rapa* на Землі, а екіпаж 87-ї місії виконуватиме цей самий експеримент з рослинами на борту шатла. Порівняння результатів, одержаних у космічному польоті та класних кімнатах, продовжуватиметься після місії через Інтернет".

*Україна молода
(18 листопада, 1997, № 212)*

"Коли Мала академія наук України за пропозицією професора Інституту ботаніки Єлизавети Кордюм включилася до виконання освітньої програми спільного українсько-американського проекту з біології, ми і гадки не мали, що він набуде такого розмаху, таких незвичайних масштабів", резюмував на урочистому вечері з нагоди від'їзду до США групи українських школярів-дослідників віце-президент закладу Володимир Назаренко. Загалом близько 20000 школярів України та стільки ж їхніх однолітків зі Сполучених Штатів залучили до цієї науково-освітньої програми. Від'їзд до США групи українських школярів — не просто цікава подорож за кордон і спілкування з ровесниками, а продовження наукової роботи, обмін досвідом та поповнення знань".

*The Ukrainian Weekly
(30 November, 1997)*

Під заголовком "Леонід Каденюк та українські учні стають часткою історії" писала: "1 грудня о 6-й ранку полковник Каденюк буде підключений за допомогою спеціального зв'язку через український телецентр в Києві до всіх шкіл в Україні, які є учасниками СУАЕ. Це вперше український космонавт буде розмовляти безпосередньо з ор-

біти з учнями своєї власної країни. Тисячі учнів в Україні матимуть можливість бачити та спілкуватися з полковником Каденюком протягом короткого періоду запитань та відповідей".

Факты
(19 ноября, 1997, № 48)

"Провожать Каденюка будут несколько делегаций. В состав официальной входят: секретарь Совета национальной безопасности и обороны Владимир Горбулин, генеральный директор Национального космического агентства Украины Александр Негода, президент Национальной академии наук Украины Борис Патон, посол Украины в США Юрий Щербак, народный депутат Леонид Кравчук и др".

Урядовий кур'єр
(20 листопада, 1997, № 215—216)

"Леонід Каденюк перемиг численних конкурентів саме тим, що володіє потрібними якостями, відмінним здоров'ям, професіоналізмом, волею у виборі і досягненні мети. І ще одна суттєва деталь: він — космонавт-дослідник, отже, до старту пройшов відповідну наукову підготовку, став науковим співробітником Інституту ботаніки НАНУ".

Урядовий кур'єр
(22 листопада, 1997, № 217—218)

"Президент України Леонід Кучма, який був присутній на старті космічного корабля "Колумбія" з міжнародним екіпажем на борту, направив лист Президентові США Біллу Клінтону. В ньому він висловив задоволення з приводу того, що досягнуті домовленості в космічній галузі вже почали втілюватися у життя. Це яскраво засвідчується участю громадянина України у космічній експедиції разом з американськими астронавтами на борту корабля "Колумбія". Нинішній політ, наголошує Президент України у своєму листі, став вінцем спільної трирічної напруженої роботи фахівців НАСА і Національного космічного агентства України. Зусиллями американських та українських науковців розроблено програму спільних експериментів. Ми впевнені, що цю програму буде повністю виконано і світова наука зробить ще один крок в освоєнні космічного простору, зокрема в космічній ботаніці, підкреслив Президент України".

ЛЕОНІД КАДЕНЮК **ЯК КОСМОНАВТ-ДОСЛІДНИК**

Окремо хотілося б висловити мою, і не тільки, думку про особистість першого космонавта незалежної України Леоніда Каденю-

ка, який волею долі брав участь у виконанні біологічного експерименту під час 87-ї місії на космічному кораблі багаторазового використання Колумбія. Леонід Каденюк є випускником Чернігівського вищого воєнного авіаційного училища та Московського авіаційного інституту, пілотом-інструктором, льотчиком-випробовувачем. Він був відібраний у Загін космонавтів і пройшов підготовку, яку вимагає ця професія. Звичайно, професійна активність Леоніда Каденюка була далекою від такої, яку він мав виконувати як космонавт-спеціаліст упродовж 87-ї місії на борту Колумбії. Леонід старанно виконував все, що передбачалося тренуваннями, дотримувався всіх вимог до такої роботи. Це і відкрило його характер і особистість як льотчика-випробовувача. Йому властиві дисципліна, відповідальність, дружелюбність, надійність. Протягом першої зустрічі з Л. Каденюком я була сильно вражена його бажанням не лише ознайомитися із завданнями експерименту, але й з науковою базою, досягненнями та ідеями в біології, на яких ґрунтується експеримент. Він прослухав цикл лекцій, організованих для нього в Інституті ботаніки ім. М.Г. Холодного, Інституті молекулярної біології та генетики, Інституті фізіології рослин та генетики та в Національному ботанічному саду НАН України. Після цього почалися практичні заняття, метою яких було навчити Л. Каденю-

ка визначати стан приймочки, наявність на ній секрету для проведення запилення, збирати пилок, легко визначати його достатню кількість на приймочці. Ці практичні заняття продовжувалися в 1997 р. в університетах США та в космічному центрі ім. Кеннеді. В США Леонід Каденюк цілком опанував навичками роботи з установками для вирощування рослин, маніпуляції з ними, а також пристроями для хімічної фіксації та заморожування зразків. Я згадую, як Леонід телефонував мені декілька разів із США, щоб точніше визначити деякі деталі процесу запилення квіток, оскільки він хвилювався, що після запилення, яке він проводив, кількість зав'язей не досягала 100 %. В результаті глибокого та досконалого знайомства з теорією та практикою біології рослин Леонід Каденюк блискуче виконав всі завдання на орбіті за протоколом експерименту, завдяки чому вчені одержали бездоганний матеріал для наступних досліджень в лабораторіях України та США. Всі учасники СУАЕ глибоко йому вдячні. Одержана принципово нова наукова інформація та оригінальні концепції й гіпотези, розроблення яких стало значним внеском у науку. Леонід Каденюк, перебуваючи на орбіті, під час відеомосту також спілкувався з учнями України та США. В космічному центрі ім. Кеннеді ми мали можливість слухати це спілкування та із задоволенням і хвилюванням відзначали не ли-

ше його змістовні відповіді школярам, але й гарну англійську мову. Після повернення до Києва Л. Каденюк систематично брав участь у зібраннях, присвячених СУАЕ. Мої теплі зустрічі з Л. Каденюком продовжуються. Я завжди відчуваю його дружнє відношення до мене та сподіваюся не лише на продовження наших зустрічей, але й на спільну роботу в космічній біології та використання його таланту як космонавта в майбутніх космічних місіях.

Є.Л. КОРДЮМ

1998

✦ Засідання Робочої групи СУАЕ, вересень.

Засідання відбулося в Києві 18—25 вересня 1998 р. На ньому заслухали та обговорили результати дев'ятимісячного аналізу експериментального матеріалу, одержаного у 87-й місії, план публікації даних у наукових журналах і подальше співробітництво дослідників України та США. На засіданні були присутні шість головних дослідників із США, персонал групи підтримки космічного центру ім. Кеннеді, представники Штаб-квартири НАСА, українські головні дослідники та їх колеги. Програма, підготовлена Є.Л. Кордюм та її співробітниками, включала добре узгоджені науко-

ві доповіді, дискусії та приємні культурні події.

Наукова програма передбачала доповіді про результати, одержані в лабораторіях України та США. У цілому, одержані результати показали, що матеріал польотного експерименту був не лише достатньої кількості, але й високої якості, і це дозволило науковцям виконати їх індивідуальні завдання.

На окремих засіданнях розглядалися стан досліджень по індивідуальних експериментах та перспективи подальшого співробітництва. Складено протоколи для публікації результатів у наукових журналах та підготовки заключної доповіді для НАСА. Подальше співробітництво обговорювалося на підставі огляду потенційних проектів.

Наукова програма чергувалася з різними культурними заходами — екскурсіями, обідами, концертами та персональними візитами до українських колег. Гостинність та щирість українців створювали чудову атмосферу для обміну думками та взаєморозуміння.

Матеріал доповідей учасників СУАЕ був представлений на презентаціях і дискусіях на конференції в Києві та мав стати основою заключного звіту в грудні.

ДОПОВІДІ УЧАСНИКІВ СУАЕ

Опубліковані у стислому вигляді в "Наукових записках" (№ 13, вересень/жовтень 1998 р.)

B-STIC — Вплив мікрогравітації на запилення та запліднення

(доповідь підготовлена доктором М. Масгрейв)

Післяпольотний аналіз квіток та стручків особин *Brassica rapa*, які виростили на орбіті, включав структурні та функціональні аспекти розвитку. Фіксація в польоті дозволила вивчати поверхню приймочок маточок після 2—24 годин від запилення. Сканувальна електронна мікроскопія показала, що перенесення пилку та його проростання на приймочці в умовах мікрогравітації відбувалися нормально. Життєздатність пилку, яку визначали одразу після польоту шляхом фарбування флуоресцентним діацетатом, становила 93—94 % у польотному та контрольному варіантах. У подальшому планується вивчення структури пилкових зерен із застосуванням трансмісійної електронної мікроскопії.

Кількість виповнених насінин на стручок істотно не відрізнялася у польотних та контрольних рослин, хоча загальна кількість стручків була більшою у наземному контролі, що можна пояснити труднощами запилення квіток в умовах мікрогравітації. Вивчення локалізації запасних речовин (вуглеводів,

білків та ліпідів) у зародках за допомогою цитохімічних методів показало, що їх накопичення відбувається подібно до наземного контролю.

Тривалість космічного польоту була недостатньою для одержання цілком дозрілого сухого насіння. Кілька стручків безпосередньо після польоту вміщено в середовище для культивування тканин, що дало можливість пізніше ізолювати із стручків зародки та культивувати їх на іншому середовищі до формування листків та коренів, а надалі пересаджувати рослини в ґрунт. Хоча у польоті зародки відставали від контрольних у досягненні стадії розвитку, коли їх можна пересаджувати у ґрунт, пізніше вони досягали її та їх розвиток був подібний до наземного контролю. Нащадки цих та контрольних рослин не відрізнялися.

Одержані результати свідчать, що репродуктивний розвиток *Brassica rapa* не залежав від гравітації. Таким чином, рослини проходять повний цикл розвитку від насінини до насінини, що, відповідно, робить можливими тривалі космічні польоти.

B-PAC — Вплив зміненої гравітації на фотосинтетичний апарат

(доповідь підготовлена доктором Джеймсом Гайкемоу)

Процес фотосинтезу відіграє вирішальну роль у замкнених системах життєзабезпечення протягом тривалих космічних польотів для відновлення їжі, атмосфери та води. Космічні польоти минулих років дуже фрагментарно висвітлювали ефекти мікрогравітації на морфологію, поділ та розтягнення клітин, а також вплив цих ефектів на фізіологію фотосинтезу. Сьогодні існує мало даних про структуру та функціонування фотосинтетичного апарату і часто вони суперечливі. Тому доцільним було вивчення фотосинтетичного апарату в експерименті СУАЕ, в якому б параметри росту рослин координувалися.

У попередніх експериментах використовували модель та конфігурацію кореневого субстрату, потреби рослин у поживних речовинах, температурний оптимум та ін., що припускало оптимальний ріст рослин. Зона коренів та система доставки поживних речовин, які використовувалися у 87-й місії, мали такі складові. По-перше, пінопласт підтримував рослини в субстраті. Пінопласт нарізали так, щоб він комфортно входив в основу ростових камер і функціонував як резервуар рідини. Ми визначили, що повний розчин Хогланда є прийнятним як джерело поживних речовин. По-друге, у фенольному пінопласті робили жолобки, що виконували дві важливі функції. З одного боку, вони створювали простір, в якому знаходилися упаковки з насінинами, з іншого — повітряний простір, який оточував упаков-

ки і був достатній для того, щоб зона кореневої системи не відчувала анаеробіозу. По-третє, упаковки для росту рослин виготовлені з плівки, яка не містила целюлози і до якої прикріплювали насінини. Відсутність целюлози виключала ріст мікробів, і треба зауважити, що рослини в експерименті СУАЕ після повернення на Землю не були переобтяжені забрудненнями з бактерій та грибів. Використання упаковок також сприяло збору тканин коренів на орбіті. Упаковка є контейнером, який легко видалявся під час маніпуляцій по заморожуванню або фіксації. В попередніх експериментах також було оптимізовано процедури (електрофорез, Вестерн-блот аналіз, оцінка кінетики флуоресценції і т.д.), які відпрацьовувалися на інших видах *Brassica*.

Цю систему потім використовували в експерименті з *Brassica rapa* протягом 15 діб у 87-й місії. Польотні процедури на шатлі проводив космонавт-дослідник від України полковник Леонід Каденюк. Насіння змочувалося на орбіті, рослини збирали на сьому, дев'яту добу (фіксувалися та заморожувалися) та на 15-ту добу (залишалися живими протягом 2 годин після приземлення 5 грудня 1997 р.). Післяпольотні дослідження тканин сім'ядолей були проведені в Канзаському університеті, куди їх транспортували у заморожуваному стані з Космічного центру.

Рослини з установки для вирощування рослин збирали та розподіляли між членами команди експерименту В-РАС відповідно до плану спільного використання тканин, відпрацьованого протягом Наукового перевірочного тесту і Тесту з корисного вантажу. Матеріал розподіляли між AMINO, PHYTO та LIPIDS (другі листки та стебла) та ROOTS (вся підземна тканина). Свіжі листки передавали команді В-РАС. Сім'ядолі збирали, заморожували та переправляли для аналізу в Канзаський університет.

Інформацію щодо росту рослин отримували з фотографій, зроблених на орбіті. В цілому особини, які вирости в космічному польоті, були вищими за контрольні з незначним зменшенням відсотку проростання. Вестерн-блот аналіз тилакоїдів хлоропластів, ізольованих із сім'ядолей, дав можливість припустити, що: 1) хлорофіл-комплекс фотосистем I (ФСІ) та II (ФСII) зменшувалися в польотних зразках, 2) фотохімічна активність ФСІ була подібною до контролю, 3) зменшення структурного білка не супроводжувалося збільшенням білкових фрагментів всередині мембрани, що могло б відбуватися, якби мікрогравітація спричинювала індуковану стресом деградацію наявних білків, 4) інші мембранні білки, передусім β -субодиниця АТФ-синтази хлоропластного спряженого фактора, виявилися в збільшених концентраціях у тилакоїдах, одержаних з польотних зразків.

Можливі дві інтерпретації одержаних даних. По-перше, можна припустити, що деякі фактори середовища у космічному польоті є стресорними для рослин, хоча привабливою є думка, що мікрогравітація призводить до зміни в динаміці рідини, внаслідок чого виникає гіпоксія в зоні кореневої системи. Дані експерименту ROOTS показали незначне збільшення білків, експресія яких регулюється протягом анаеробіозу, спричиненого затопленням. Деякі колеги вважають, що стрес скоріше міг викликатися водним дефіцитом. По-друге, можливо, що деякі фактори навколишнього середовища в польоті могли негативно впливати на формування та активність фотосинтетичного апарату, особливо ФСІ. Наприклад, деякі групи спостерігали зміни у розподілі вуглеводів у рослинах протягом космічного польоту. Це робить значно яснішим положення, що гени білків фотосинтетичного апарату регулюються на рівні вмісту вуглеводів. Проте рівні диференційної регуляції ФСІ та ФСII невідомі. Сподіваюся, що наші дані привабливі та порушують питання, які мають фундаментальне та прикладне значення для розробки біорегенеративних та контрольованих систем життєзабезпечення в космічному польоті.

В-РАС — Флуоресцентна та фотохімічна активність листків *Brassica rapa*

*(доповідь підготовлена
д.б.н. Світланою Кочубей)*

В СУАЕ моя команда досліджувала такі характеристики, як: 1) індукція флуоресценції листків, 2) спектри низькотемпературної флуоресценції хлоропластів, 3) низькотемпературні спектри флуоресценції ФСІ та ФСІІ, 4) абсорбційні спектри хлоропластів при кімнатній температурі, 5) фотохімічна активність ФСІІ шляхом моніторингу еволюції кисню в присутності штучного акцептора електронів, 6) фотохімічна активність ФСІ шляхом моніторингу кисню, поглинання в присутності донора та акцептора штучних електронів.

Більшість результатів отримано на 15-добових рослинах. Ми дійшли таких висновків:

1) фотосинтетичний апарат листків першої пари 15-добових рослин *Brassica rapa* виявив певні відхилення від нормального стану,

2) відхилення, спричинене деформацією комплексу ФСІ, виявляється спочатку в близькому оточенні реакційних центрів і, можливо, в інших місцях ланки електронного транспорту,

3) можливо, що вміст світлозбирального комплексу зменшується під впливом мікрогравітації,

4) мікрогравітація слабо впливає на організацію та функціональну активність ФСІІ.

В-РАС — Структурна організація листків та клітин мезофілу *Brassica rapa*

*(доповідь підготовлена
к.б.н. Надією Адамчук)*

Структурну організацію листків та мезофільних клітин 9- та 15-добових рослин, фіксованих після польоту, та 6- і 13-добових рослин, фіксованих на орбіті, аналізували методами світлової та електронної мікроскопії та морфометрії.

Порівняльний аналіз морфологічних ознак 13- та 15-добових рослин, які виростили в наземному контролі та космічному польоті, показав значне збільшення розмірів клітин палісадної паренхіми, розмірів та кількості хлоропластів у космічному польоті, хоча товщина листової пластинки не змінювалася. Кількісна оцінка ультраструктурних ознак виявила збільшення відносного парціального об'єму тилакоїдів та пластоглобул у стромі хлоропластів польотних зразків. Відмічено також збільшення кількості тилакоїдів у гранах та об'єму крохмальних зерен у хлоропластах 13- та 15-добових експериментальних рослин. Загальна довжина фотосинтетичних мембран у хлоропластах палісадної паренхіми збільшувалася у 6-ти та 9-добових рослин протягом польоту, при цьому збільшувалася саме довжина стро-

мальних тилакоїдів, а тилакоїдів гран не змінювалася, хоча число гран зменшувалося. Крім того, більшість гран містила тилакоїди різної довжини. Міжтилакоїдний простір був більшим у рослин в наземному контролі.

АМІНО — Вплив умов космічного польоту на вміст амінокислот у *Brassica rapa*

*(доповідь підготовлена
д. б. н. Тетяною Черевченко)*

Результати досліджень показали, що загальний вміст вільних амінокислот у наземних органах (листки другої пари та стебла) в космічному польоті збільшувався в 1,4 — 2,1 рази порівняно з наземним контролем. Найбільшими були відмінності у 15- та 28-добових рослин. Вміст аспарагінової кислоти, треоніну, серину, глутамінової кислоти, аланіну та валіну особливо збільшувався в листках 15-добових рослин. В той же час зареєстровано збільшення вмісту проліну, аспарагінової кислоти, треоніну, серину та аргініну в стеблах. Значне зростання вмісту лізину та аргініну вперше визначено у 28-добових рослин в умовах космічного польоту. Збільшення вмісту аргініну в листках у 5,5 рази, а в стеблах — у 25,6 рази засвідчує втрату рослинами фосфатів. Зниження синтезу амінокислот ароматичного ряду також вказує на порушення фосфатного обміну у рослин в умовах мікрограві-

тації. Збільшення вмісту аспарагінової кислоти у 21 раз в листках 15-добових рослин та його зниження у 8,5 рази в стеблах свідчать про старіння рослин та порушення азотного обміну. На активацію синтезу фотосинтетичних пігментів вказує збільшення вмісту глютамінової кислоти в 1,6 рази у листках 15-добових рослин. Накопичення вільних амінокислот, передусім проліну, в наземних органах рослин *Brassica rapa* в умовах мікрогравітації розглядається як адаптивна реакція рослин на водний стрес.

РНУТО — Вплив умов космічного польоту на вміст фітогормонів у *Brassica rapa*

(доповідь підготовлена д.б.н. Людмилою Мусатенко)

Дослідження фітогормонального комплексу рослин *Brassica rapa* не виявило відмінностей в рівнях ауксину у підземних органах 9-добових рослин в наземному контролі та в умовах мікрогравітації. Вміст абсцизової кислоти виявився вищим в польотних зразках порівняно з контролем, що можна пояснити її фізіологічною функцією як фітогормону стресу. Порівняльний аналіз хроматограм, одержаних методом рідинної хроматографії високого тиску із польотних та наземних зразків, показав присутність в обох варіантах бензиламінопурин рибозиду, ізопентеніладеніну та ізопентеніладенозину. Також виявлено значно вищий вміст

рибозиду зеатину, який контролює загальний вміст цитокінінів у рослин, в польотних зразках. У слідових кількостях виявлено похідні рибозидів та глюкозидів. Одержані дані дозволили припустити, що в умовах мікрогравітації скоріше відбувається перерозподіл різних форм ростових речовин, ніж зміни в їх синтезі та метаболізмі.

ROOTS — Структурна організація апексів головного та бічних коренів, особливо чохлаків, у *Brassica rapa* в умовах мікро гравітації

(доповідь підготовлена д.б.н. Єлизаветою Кордюм)

Надано огляд існуючих у літературі даних щодо росту та розмірів рослин, мітотичної активності, гістогінезу, диференціювання клітин та структурно-функціональної організації апексів ембріональних коренів в умовах мікрогравітації. На підставі проведеного аналізу визначено основну мету експерименту ROOTS — з'ясувати особливості диференціювання та функціонування клітин кореневого чохлака як гравісприймаючого органа на різних стадіях розвитку рослин *Brassica rapa* в космічному польоті та наземному контролі. За допомогою електронної мікроскопії аналізували кореневі апекси головного та бічних коренів 6- та 13-добових рослин, фіксованих на орбіті, та 15-добових, фіксованих після приземлення. В умовах

мікрогравітації спостерігалися закручені бічні корені 1-го порядку. Основну увагу було приділено ультраструктурі меристематичних клітин кореневого чохлака, клітин, які диференціювалися у статоцити, статоцитів та секреторних клітин. Більшість ознак ультраструктури досліджуваних клітин у контролі та в умовах мікрогравітації, включаючи розміри, форму та розташування ядер та структуру хроматину, були подібними, хоча відзначено певні відмінності. Так, у статоцитах в умовах мікрогравітації амілопласти-статоліти, на відміну від наземного контролю, розташовувалися по всьому об'єму цитоплазми, об'єм крохмальних зерен в амілопластах зменшувався. Деякі зміни спостерігалися в локалізації мембран агранулярного ендоплазматичного ретикулуму в дистальній частині статоцита. Секреторні клітини чохлака у польотних зразках відрізнялися від контрольних сильнішою вакуолізацією та меншим об'ємом апарату Гольджі. На підставі характеру змін у структурі диктіосом припускається зниження виробництва ними слизу. В клітинах ризодерми власне кореня збільшувався об'єм вакуолей та зменшувався — локальних розширень гранулярного ендоплазматичного ретикулуму з білковим вмістом. У цілому було відмічено, що морфогенез коренів та диференціювання клітин відбувалися нормально в умовах мікрогравітації, — рослини росли, цвіли та зав'язували насіння за



цих умов. Статоцити як гравісприймаючі клітини диференціювалися в чохлаках головного та бічних коренів в умовах мікрогравітації, але не функціонували за відсутності гравітаційного вектора. Припускається, що зміни вуглеводного обміну, які відбуваються в умовах мікрогравітації, можуть впливати на метаболізм, що відображається в ультраструктурі клітин кореневого чохла та ризодерми.

ROOTS — Вміст ДНК у різних ростових зонах кореня *Brassica rapa* за умов мікрогравітації

*(доповідь підготовлена
Віктором Заславським)*

Кореневі апекси 9- та 15-добових рослин фіксували в розчині Карнуа після приземлення, застосовуючи реакцію Фельгена, зразки аналізували за допомогою однохвильового цитофлуориметричного методу (довжина хвилі 502 нм) для визначення відносного вмісту ДНК. У кожній ростовій зоні — меристемі, розтягання та диференціювання шести польотних та шести контрольних коренів вимірювали по 100 клітин. Одержані дані обробляли статистично. На підставі аналізу одержаних даних зроблено такі висновки: 1) вміст ДНК у клітинах різних ростових зон бічних коренів 1-го порядку у 9- та 15-добових рослин польотного варіанту та наземного контролю варіював

від 3.15 ± 0.12 ум. од. — 2 С до 6.3 ± 0.18 ум.од. — 4 С, включаючи проміжні значення, що відповідало нормальному перебігу різних фаз клітинного циклу, 2) подібний рівень проліферації був визначений в меристематичних клітинах коренів 9-добових рослин за умов мікрогравітації та наземного контролю, незначне зниження рівня проліферації відзначено у 15-добових рослин, 3) в наземному контролі збільшення популяції клітин з 4 С спостерігали в зонах розтягання та диференціювання з максимумом в останній — 30 та 40 % відповідно, в умовах мікрогравітації — 40 та 50 % відповідно, що вказує на вищий рівень соматичної поліплоїдизації за умов мікрогравітації. Таким чином, можна констатувати, що в основних рисах клітинний цикл за умов мікрогравітації відбувається подібно до контролю. Збільшення кількості поліплоїдних клітин у зонах розтягання та диференціювання кореня може свідчити про посилення резистентності рослин при мікрогравітації шляхом ампліфікації генів та змін ядерно-цитоплазматичних співвідношень.

SOYMET — Взаємодія мікрогравітації та етилену в розвитку та метаболізмі сої

*(доповідь підготовлена
доктором Крістофером Брауном)*

У рослин в космічному польоті виявлено зміни в рості, метаболізмі та ультраструк-

турі. Раніше було встановлено, що рівні етилену вищі в польотних рослин, ніж в контрольних. Тому в цьому експерименті перевіряли гіпотезу, чи відбуваються внаслідок підвищення синтезу етилену зміни в рості, метаболізмі та ультраструктурі у рослин, які вирости в космічному польоті. В експерименті SOYMET використовували етіольовані проростки сої (*Glycine max* сорт McCall), які росли в контейнерах для біологічних досліджень. Половина контейнерів містила $KMnO_4$ для видалення етилену з повітря. Сухе насіння доставляли на орбіту і там змочували. Протягом польоту з контейнерів періодично брали зразки газу. Частина контейнерів заморозували на орбіті, іншу повертали з матеріалом в живому стані. Після польотні дослідження включали аналізи складу газу, росту проростків, вуглеводного метаболізму у сім'ядолях, локалізації кальцію та ультраструктури клітин кореня.

Концентрація етилену в каністрах була вдвічі більшою в космічному польоті, ніж в наземному контролі. Хоча $KMnO_4$ зменшував концентрацію етилену в каністрах, в польотних каністрах вона залишалася вищою за наземний контроль.

Ріст проростків в умовах мікрогравітації мало відрізнявся від наземного контролю. Проте незалежно від рівнів етилену загальна свіжа маса проростків була нижчою в польотному варіанті порівняно з контрольним. Співвідношення гіпокотиль/корінь також зни-

жувалося в польоті за присутності етилену, але за його відсутності не відрізнялося від наземного контролю.

Вміст сахарози в сім'ядолях у польоті був удвічі вищим за контроль. Вміст крохмалю, гексозних цукрів, білків або ліпідів не відрізнявся. Можливо, що рівень етилену не є діючим фактором.

При високому рівні етилену епідермальні та мезофільні клітини сім'ядолей збільшувалися за розміром, але на цей показник мікрогравітація не впливала *per se*. Білкові тільця були присутні у вакуолях і, схоже, лізис білків збільшувався в умовах мікрогравітації незалежно від рівня етилену. Не виявлено впливу космічного польоту або рівня етилену на розмір епідермальних клітин гіпокотилу та структуру органел. Відзначено збільшення вакуолізації статоцитів, меристематичних та секреторних клітин кореневого чохла порівняно з наземним контролем. Розміри пластид у статоцитах кореневого чохла та крохмальних зерен у пластидах у польотному варіанті зменшувалися, накопичення фітоферитину в пластидах зростало.

Рівень кальцію в гіалоплазмі паренхимних клітин гіпокотилу виявився більш чутливим до концентрації етилену (високий рівень кальцію при високій концентрації етилену), ніж до космічного польоту. Проте в клітинах мезофілу сім'ядолей в польоті вміст кальцію, можливо, був нижчим за такий в наземному контролі.

Ряд параметрів росту та метаболізму проростків сої визначали з метою з'ясування, чи їх зміни в польоті є наслідком підвищення рівня етилену. Лише співвідношення гіпокотиль/корінь та розмір епідермальних клітин сім'ядолей виявилися чутливими до вмісту рівня етилену незалежно від умов гравітації. На інші параметри (загальний ріст, концентрацію вуглеводів, наявність білкових тілець у вакуолях клітин мезофілу сім'ядолей, вакуолізацію клітин кореневого чохла, розміри пластид та крохмальних зерен у пластидах, накопичення фітоферитину) впливали умови космічного польоту, але не рівень етилену. Тому можна сказати, що, крім етилену, який відіграв певну роль у рості та розвитку проростків сої, наявні інші фактори, які впливають на біологічні об'єкти та потребують подальшого вивчення.

SOYMET — локалізація кальцію в сім'ядолях та гіпокотилі проростків сої, які виростили в умовах мікрогравітації та в наземному контролі

(доповідь підготовлена д.б.н. Оленою Недухою)

В експерименті SOYMET був встановлений вплив мікрогравітації на перерозподіл та відносний вміст вільних та слабкозв'язаних іонів кальцію в різних клітинах гіпокотилу та сім'ядолей проростків сої. Локалізацію іонів кальцію досліджували за допомогою

електронно-цитохімічного піроантимонатного методу в різних клітинах гіпокотилу та сім'ядолей у 6-добових проростках, які росли в присутності та відсутності етилену. Показано, що етилен впливав на розвиток проростків — це засвідчують зміни ультраструктури клітин. Відносний вміст кальцію в гіалоплазмі паренхимних клітин гіпокотилу збільшувався в присутності етилену як у контролі, так і в космічному польоті. Крім того, клітини мезофілу сім'ядолей за умов мікрогравітації виявляли ознаки прискореного старіння порівняно з наземним контролем незалежно від концентрації етилену в каністрах. Запасні білки у вакуолях були повністю утилізовані. В таких вакуолях відзначено зменшення кількості гранул преципітату кальцію, їх зменшення спостерігали також в міжклітинному просторі проростків за умов мікрогравітації порівняно з наземним контролем.

SOYMET — Ультраструктурна організація та локалізація кальцію в клітинах корневих апексів проростків сої, які виростили в умовах мікрогравітації та наземного контролю

(доповідь підготовлена к.б.н. Дмитром Климчуком)

Показано, що ріст коренів проростків сої в умовах мікрогравітації сповільнювався порівняно з наземним контролем. Електрон-



на мікроскопія поздовжніх зрізів корневих апексів виявила прогресивну вакуолізацію клітин меристеми, статенхіми, секреторних клітин та клітин у зоні розтягнення за умов мікрогравітації порівняно з наземним контролем незалежно від концентрації етилену. В статочитах корневих чохлаків структурна полярність була відсутня, тобто амілопласти не опускалися в дистальну частину клітини, а в основному розташовувалися в її центрі. Також у статочитах в польотному варіанті у присутності або відсутності етилену порівняно з контролем зменшувалися об'єми амілопластів та крохмальних зерен на органелу. В польотних зразках вміст фітоферитину в стромі пластид збільшувався, що припускає зміни в шляхах метаболізму заліза в проростках. За допомогою піроантимонатної реакції, за якою визначають концентрацію та локалізацію іонів кальцію, в меристематичних клітинах виявлена незначна кількість піроантимонату кальцію, значно більше його в статенхімі та секреторних клітинах корневих чохлаків як у польотних зразках, так і в контрольних. У статочитах продукт піроантимонатної реакції маркував всі клітинні компартменти, але кількість його варіювала.

СОУРАТ — Вплив мікрогравітації на патогенез та захисні реакції тканин сої

(доповідь підготовлена
Марією Ріба-Уайт)

Тривале життя в космосі вимагає виробництва їжі. Одержання врожаю в замкнених системах та негативний вплив мікрогравітації на ріст рослин збільшуватиме ризик хвороб. Щоб оцінити вплив космічного польоту на чутливість та резистентність рослин до патогенів, проростки сої, інфіковані *Phytophthora sojae* — патогеном, котрий спричинює кореневу гниль, вирощували в космічному польоті. Для кількісної оцінки впливу мікрогравітації на чутливість рослин до інвазії патогену визначали: 1) макроскопічні зміни, 2) довжину коренів, 3) кількість бічних коренів, 4) симптоми хвороби.

Інокулюм *Phytophthora sojae* впускали в основу автоклавованих ростових пакетів через пластикову трубку перед стартом. Ці пакети містили запаяні каналці для спрямування росту кореня в напрямку до гриба за умов мікрогравітації. Пакети дозволяли легко оцінювати ріст коренів та виявляти симптоми. Експеримент проводили в каністрах для біологічних досліджень, він включав 4 повтори для кожної обробки. Частину проростків сої (сорт Williams 82) обробляли ізолятом *P. sojae* B77R1-55-16 (R1 несумісний) або B8R5-81-12 (R25 сумісний). Проростки фіксували в умовах мікрогравітації

на 4-, 7- та 8-му добу після посіву насіння, тобто на 3-, 6- та 7-му добу польоту.

На польотних проростках було виявлено більше симптомів хвороби, ніж у наземному контролі. Через 7 діб після старту значна частина тканин рослин, інокульованих *P. sojae* R25, була уражена патогеном. Рослини, інокульовані *P. sojae* R1, за умов мікрогравітації мали здоровіший вигляд, ніж у наземному контролі. Світлова мікроскопія показала, що зона корневих волосків була найбільше колонізована грибом у сумісному варіанті. В той час як у наземному контролі гриб колонізував в основному епідермальний шар, у космічному польоті він проникав у провідну систему. У польотних зразках спостерігалось більше гаусторіїв, ніж у наземному контролі. Поява гаусторіїв, гіф та ооспор не відрізнялася. Ооспори утворювалися в інфікованих тканинах у сумісному варіанті в космічному польоті і наземному контролі, але не спостерігалися в несумісному варіанті. Продовжується кількісний аналіз утворення ооспор у сумісному варіанті.

Висновки:

1) Проростки сої в космічному польоті виявилися чутливішими до *P. sojae*, ніж у наземному контролі.

2) Інфіковані корені в космічному польоті виявляли більше симптомів хвороби, ніж у наземному контролі.

3) У польоті патоген проникав у корені інтенсивніше, ніж у наземному контролі.

SOYPAT — Вплив мікрогравітації на чутливість 6-добових проростків сої до *Phytophthora sojae*

(доповідь підготовлена д.б.н. Оленою Недухою)

На коренях проростків, інфікованих *P. sojae* R25, виявлялося більше уражених місць (% коричневих та мацерированих зон), ніж у наземному контролі, що свідчить про більшу інтенсивність колонізації проростків патогенним грибом за умов космічного польоту. Колонізація проростків *P. sojae* R1 була значно слабшою як в польоті, так і в наземному контролі. Встановлено, що зона кореневих волосків є найчутливішою до проникнення гриба порівняно з іншими ростовими зонами кореня. Електронна мікроскопія клітин коренів проростків, які виростили в космічному польоті та наземному контролі, показала добре збереження структури клітин рослини-хазяїна та гриба, що вказує на відмінну фіксацію проростків. Одержані результати виявили зростання чутливості проростків сої до патогенного гриба в умовах мікрогравітації.

GENEX — Вплив умов космічного польоту на генну експресію в тканинах сої

(доповідь підготовлена доктором Уільямом П'ястучем)

У попередніх експериментах, проведених нашою лабораторією на борту шатлів в місях 68 та 63, були показані відмінності в рості, морфології, вмісті вуглеводів та ферментативної активності етіюльованих проростків сої. Але післяпольотне вимірювання вмісту етилену в контейнерах показало значно вищі його рівні порівняно з наземним контролем, що припускало головну роль етилену у виявлених відмінностях. Експеримент GENEX відбувався за модифікованими протоколами, а саме: а) еквівалентні рівні етилену на орбіті та у наземному контролі (вимірювали зразки газу після 5 діб польоту на орбіті та після польоту); б) обмеження попередньо підрахованого механічного зсуву і контакту проростків з металом та вологими поверхнями; в) повне повернення інтактних тканин. 192 насінини сої (*Glycine max*, сорт McCall) змочували на орбіті, етіюльовані проростки 6 діб росли у каністрах для біологічних досліджень. Наприкінці експерименту проростки були у відмінному стані, добре зволоженими, однакового розміру, без жодних ознак ураження або забруднення, схожість насіння була високою (96 % схожості в космічному польоті та 98 % — у наземному контролі). Виміри газу у повітрі та всередині каністр під час польоту та після польоту показали високі, але еквівалентні концентрації етилену та CO₂ — як і в наземному контролі. Важливо, що це був перший випадок, коли

вміст етилену в польотних зразках етіюльованих проростків сої не перевищував такий в наземному контролі. Це дозволило зробити більш коректне порівняння польотних та контрольних зразків. Припускається, що еквівалентні концентрації газу пояснюються розміщенням польотних каністр у відкритому просторі кабіни (з примусовою вентиляцією повітря та рухом екіпажу), що дозволяло обмін повітря між каністрами та атмосферою кабіни, і що було подібним до умов наземного контролю, де мала місце гравітаційна конвекція.

За допомогою рілинної хроматографії високого тиску були виявлені зміни концентрації деяких вторинних метаболітів у сім'ядолях, гіпокотилі та корені. Аналіз біосинтезу ізофлавоноїдів показав, що їх загальна концентрація значно зменшувалася в тканинах сім'ядолей в космічному польоті порівняно з наземним контролем. Проте в тканинах гіпокотилі та кореня польотних зразків виявлено вищу загальну концентрацію ізофлавоноїдів, що може вказувати на можливі зміни у розподілі ізофлавоноїдів у проростках за умов космічного польоту.

За морфологічними ознаками (сирою вагою, довжиною коренів та стебел, ступенем галуження бічних коренів) встановлено суттєві відмінності між польотними та наземними проростками. Зокрема, кількість та довжина бічних коренів збільшувалися в



космічному польоті, сира вага коренів польотних проростків збільшувалася порівняно з наземними за рахунок утворення більшої кількості бічних коренів та більшої довжини первинного кореня.

Розподіл та концентрація вуглеводів змінювалися в польотних зразках. Так, значні відмінності у вмісті крохмалю відзначено в тканинах видовженого гіпокотила. Наявність вищого вмісту крохмалю в польотних зразках в експерименті GENEX суттєво відрізняється від попередніх експериментів. Мікроскопічні дослідження підтвердили значно вище накопичення крохмалю в тканинах гіпокотила в польоті порівняно з наземним контролем. Продемонстровано внутрішньоклітинну локалізацію амілопластів у польоті та в наземному контролі: в контролі вони осідали за гравітаційним вектором, в польоті розташовувалися по всій цитоплазмі.

Загальна РНК була екстрагована з польотних та наземних зразків. Дот-блот гібридизація мембранозв'язаних зразків РНК із специфічними пробами дигоксигенін-міченою ДНК виявила наявність мРНК різних стресзалежних генів у клітинах проростків, які виростили в умовах мікрогравітації. Показані підвищені концентрації мРНК генів білків, подібних до білків теплового стресу в тканинах сім'ядолей та гіпокотила проростків у космічному польоті порівняно з наземним контролем. Зміни були також у

продуктах генів, залучених до утворення вторинних метаболітів. Ці регуляторні гени здається контролюються протягом космічного польоту. Одержані результати показують, що умови космічного польоту рослинні тканини можуть сприймати як зовнішній стрес, що спричинює підвищене утворення білків, здатних захищати важливі клітинні структури від ушкоджень.

SPAM-A — диференціювання і тропізми у моху *Ceratodon*, який виріс у космічному польоті

(доповідь підготовлена доктором Фредом Саком)

Апікальні клітини протонемати моху *Ceratodon* є клітинами з верхівковим ростом, які виявляють негативний гравітропізм та позитивний фототропізм. Осідання амілопластів, можливо, відбувається внаслідок гравічутливості, але процес осідання є складним. Завданнями SPAM — А було визначити, чи в умовах мікрогравітації: 1) фототропізм та гравітропізм взаємодіють за низької інтенсивності світла; 2) диференціювання є нормальним; 3) ріст у темноті є довільним; 4) чи є розподіл амілопластів задовільним.

Встановлено, що в умовах мікрогравітації диференціювання відбувається нормально. Висока інтенсивність червоного світла пригнічує гравітропізм, точність та кінетику

фототропізму порівнювали із наземним контролем. У дослідженнях на Землі неможливо визначити, чи гравітропізм і фототропізм взаємодіють за низької інтенсивності світла, або світло модулює гравітропізм. Оскільки певний фототропізм здійснювався в космічному польоті, можливо, що слабка взаємодія між тропізмами існує.

Цікаво, що як орієнтація верхівкового росту, так і осідання амілопластів не було задовільним. У культурі, яка знаходилася в темноті протягом 14 діб, верхівки протонемати росли спіралью, чітко за годинниковою стрілкою. Амілопласти групувалися також ближче до апексу клітини. Одержані дані припускають, що гравітація нормально компенсує скриті тенденції, зокрема внутрішні механічні сили, які діють на амілопласти.

SPM-B — гравітація у рості та морфогенезі мохів

(доповідь підготовлена д.б.н. Орестом Демківим)

Експерименти, виконані в умовах мікрогравітації на російському біосупутнику Біон-11 та на шатлі протягом 87-ї місії, показали, що в умовах мікрогравітації в темноті формуються дернинки моху *Ceratodon* з радіальною симетрією, тобто спіральний ріст ендогенно контролюється і не залежить від присутності або відсутності екзогенних стимулів.

Механізми спірального росту ще не вивчені. Ми вважаємо, що такі механізми відносяться до просторової організації росту протонемати, його локалізації та полярності і мають певним чином відображати біоелектричну полярність, організацію цитоскелету та розміщення целюлозних мікрофібрил. Електронно-мікроскопічне дослідження пластид, особливо у верхівках апікальних клітин, може надавати інформацію про форми та щільність везикул Гольджі протягом змін ростових показників від лінійного до спірального.

Протонемата *Pottia* в темноті в гравітаційному полі росте негативно гравітропно, водночас за умов мікрогравітації її нитки ростуть у різних напрямках та під різними кутами до поверхні субстрату. Протонемата *Pottia* в темноті росте значно повільніше, ніж *Ceratodon*. Протонемата, яка росла в темноті 7 діб, різко реагувала на спрямованість та інтенсивність червоного світла. При низькій $0.2 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ в умовах мікрогравітації та середній $0.9 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ інтенсивності протонемата росла позитивно фототропно.

SPM-B — вплив мікрогравітації на апікальні клітини протонемати

(доповідь підготовлена
к.б.н. Христиною Чабан)

Негативний гравітропізм протонемати мохів був встановлений та детально проаналі-

зований у ряду мохів, в тому числі *Pottia*. Механізм сприйняття гравітації пояснювався з позицій крохмаль-статолітної теорії, тобто осіданням амілопластів у протонемальних апікальних клітинах уздовж гравітаційного вектора. Значно менше відомо про ріст протонемати в умовах кліноостатування або реальної мікрогравітації. В СУАЕ вперше була надана можливість проаналізувати ріст протонемати моху за відсутності таких зовнішніх стимулів, як світло або гравітація, а також при короткому впливі червоного світла. Спеціально розроблена система для фіксації протонемати на орбіті дозволила дослідити тонку структуру протонемальних апікальних клітин *Pottia*, які не галузилися в темноті та нещільно розташовувалися, тому можна було вивчати кожен окрему нитку.

У гравітаційному полі в темноті протонемата *Pottia* формувала пучки паралельних вертикальних ниток, які були майже прямими. Протягом космічного експерименту нитки росли в різних напрямках, як і при кліноостатуванні. Виміри положення верхівок ниток показали довільне розташування ниток. При тривалому кліноостатуванні протягом 14—21 доби згинання протонемати збільшувалося.

Розташування пластид в апікальних протонемальних клітинах є більш-менш стабільним протягом інтерфази. Розташування та осідання пластид чітко спостерігається за допомогою зйомки апікальних клітин,

які ростуть вертикально. Протягом клітинного росту пластиди в субапікальній та проміжній зонах звичайно знаходяться в одному й тому ж положенні, поки клітина не ділиться. Вони рухаються дуже повільно у коливально-подібний спосіб. Іноді дуже маленькі пластиди спостерігаються в апікальному куполі, звичайно вільному від амілопластів. Ядро також розташоване на фіксованій відстані від верхівки та з ростом клітини переміщується вперед. Процес клітинного ділення не впливав на протонемату, яка росла вертикально, проте впливав на гравітропний згин протонемати. Все це наводить на думки про існування кореляції між взаємовідношенням амілопластів і ядра та ритмом росту протонемати. Не виключено, що така кореляція відіграє роль у поведінці протонемати в умовах мікрогравітації та кліноостатування. Ми вважаємо, що подальший аналіз апікальних клітин, включаючи електронно-мікроскопічний, відкриє більше можливостей для вивчення такої кореляції.

КОРОТКІ РЕЗЮМЕ АМЕРИКАНСЬКИХ ГОЛОВНИХ ДОСЛІДНИКІВ

"Вчені України і США провели зустріч у вересні 1998 в Інституті ботаніки в Києві. Після розгляду наукової і навчальної складових

цього важливого проекту ми зробили кілька цікавих спостережень. А саме, в умовах космічного польоту відмічався несподіваний спіральний тип росту моху; підвищений рівень АДФ у коренях рослин; репродуктивний процес без відхилень у вищих рослин; посилена відповідь на дію грибкового патогена у сої і знижена активність фотосинтетичного апарату.

Один із важливих висновків: співпрацю між дослідниками обох сторін потрібно продовжувати. Ми рекомендували це Космічним агентствам обох країн. Дослідники висловили бажання брати активну участь у співробітництві.

Учасники делегації США

Фред САК, Крістофер БРАУН, Уільям ПЬЯСТУЧ".

"Ми спостерігали паралельне зниження активності білків ФС1 та ФС2. Це могло статися через дві причини. По-перше, умови космічного польоту можуть бути стресорними для існуючих білків, спричиняючи їх деструкцію. У цьому разі ми мали б побачити продукти розпаду білків на електрофорезі. Але ми цього не бачимо. По-друге, кос-

мічний політ може впливати на розвиток організму і обмежувати синтез білків ФС1. Я підтримую цей висновок.

Джеймс ГАЙКЕМА".

ОСВІТНЯ ПРОГРАМА

У квітні 1998 р. в Києві відбувся черговий семінар з Освітньої програми на базі Державного еколого-натуралістичного центру учнівської молоді, який став головним науково-методичним центром Освітньої програми в Україні. Всього з лютого 1996 р по квітень 1998 р. було проведено шість шкіл-семінарів, в яких брали участь 42 відповідальні виконавці з 25 областей України. Один із семінарів був проведений безпосередньо під керівництвом Пола Вільямса та за участю Тома Дрешела та Пітера Четиркіна. Загалом до Освітньої програми було залучено біля 20 тис. виконавців з 24-х територіальних відділень Малої академії наук України. Головний аналітико-обчислювальний та довідково-інформаційний центр створено на базі Інституту біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України.

Спільний українсько-американський експеримент став незабутньою подією в моєму житті, що відбувалася серед чудової природи мису Канаверал — серед пальм та сосен, шуму океану, численних броненосців, які почувалися як вдома, гармонії природи та технології. Досконала організація всіх процесів підготовки та проведення СУАЕ надала вчепним відмінні можливості працювати надзвичайно ефективно протягом трирічної підготовки, в польотний та післяпольотний періоди. Я завжди пам'ятатиму доброзичливість та гостинність всіх наших американських колег, яких я можу справді вважати своїми друзями.

Єлизавета КОРДЮМ

Успішне проведення СУАЕ стало можливим в результаті виконання величезної кропіткої роботи, проведеної уважно і прискіпливо. Це точно відображено в представленій книзі, яка яскраво висвітлює всі аспекти підготовки і проведення експерименту, гарну співпрацю українських та американських дослідників на всіх рівнях, незважаючи на віддаленість та певні лінгвістичні проблеми. Матеріал книги добре збалансований та прекрасно ілюстрований, в ньому точно розставлено акценти і чітко показано внесок кожного з головних дослідників та їх команд, детально проаналізовано завдання та результати кожного експерименту.

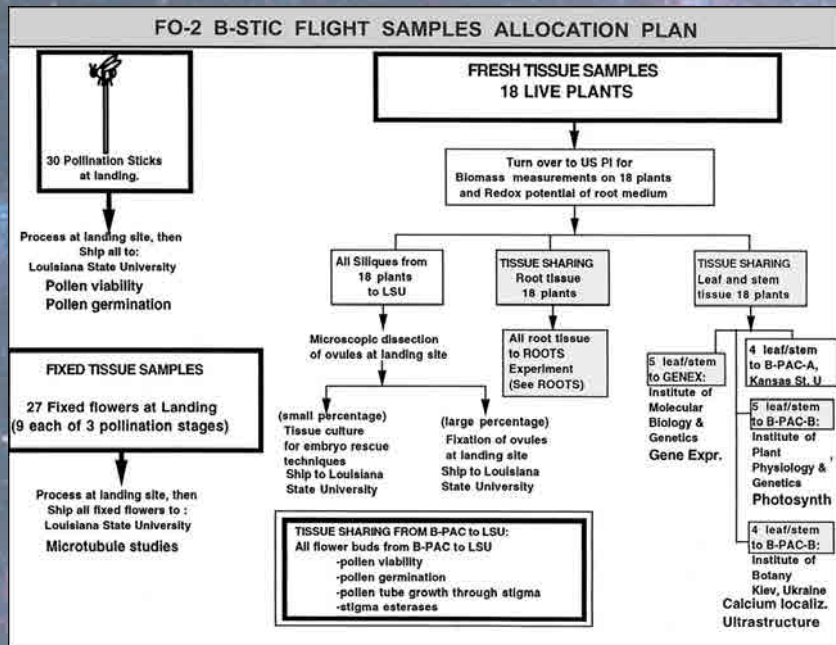
СПІЛЬНИЙ УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ або СУАЕ визнаний як справжній успіх від самого початку до останньої публікації. Ця книга фіксує успіх експерименту, його значення та досконалість.

Том СКОТТ

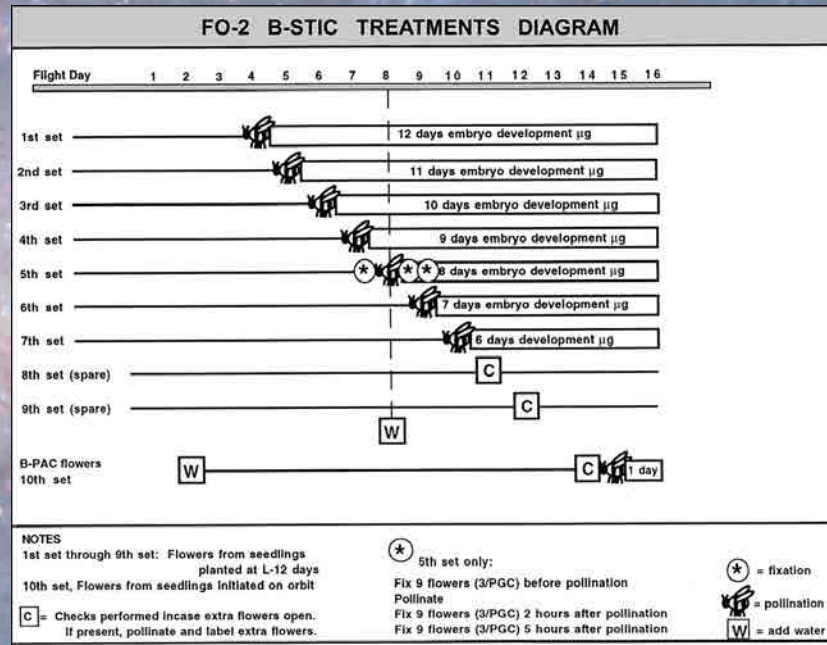




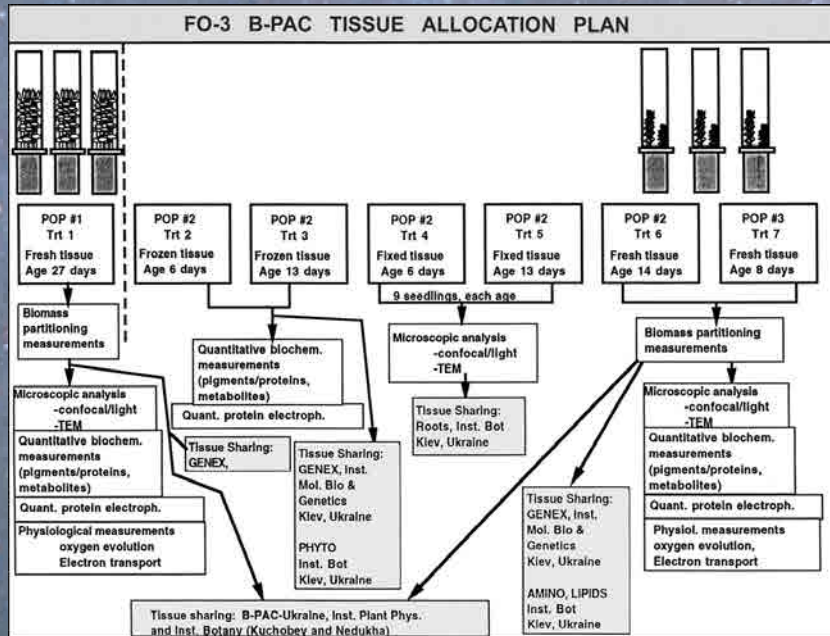
Перша робоча нарада українських та американських дослідників у Космічному центрі ім. Кеннеді. Листопад, 1995
Kick-off Meeting held at Kennedy Space Center. November, 1995



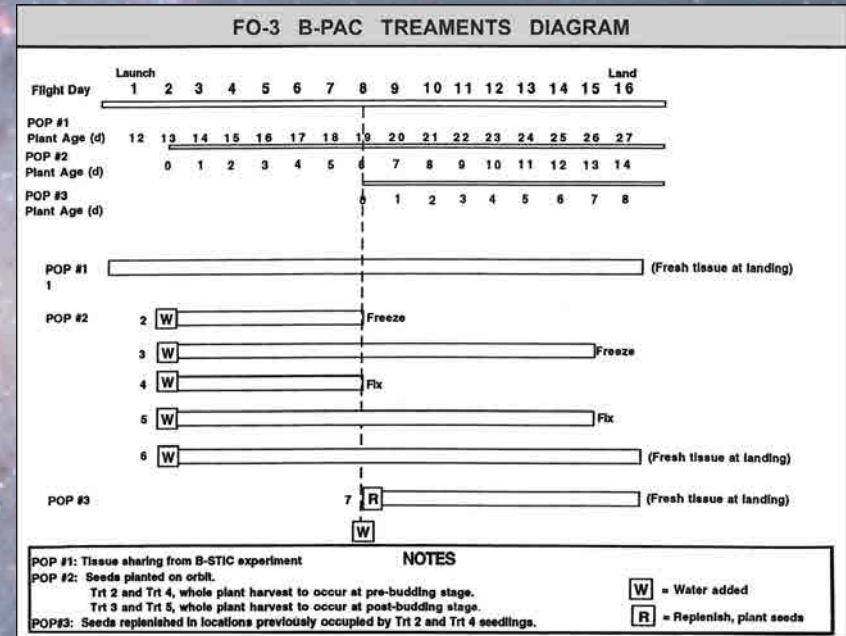
План розподілу польотних зразків в експерименті B-STIC
B-STIC Flight Sample Allocation Plan



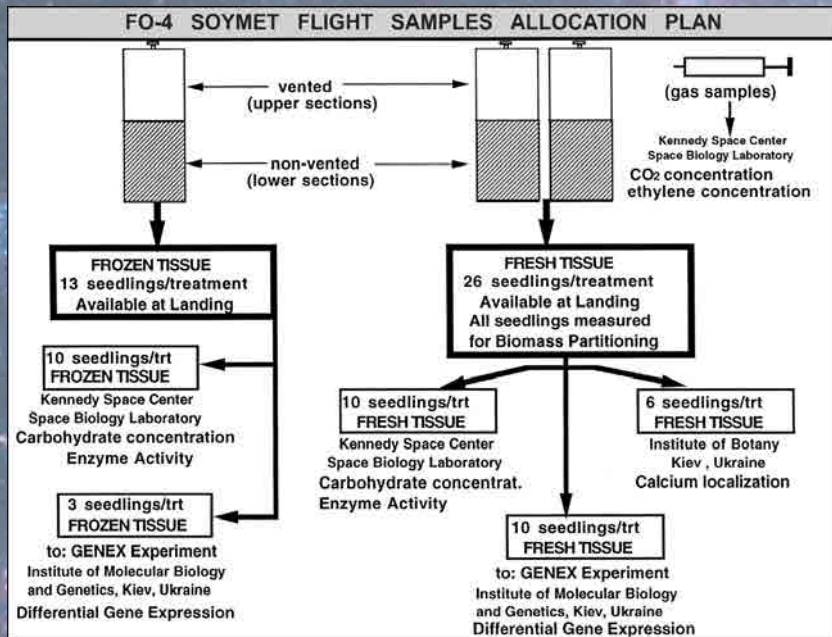
Діаграма обробки матеріалу експерименту B-STIC
B-STIC Treatment Diagram



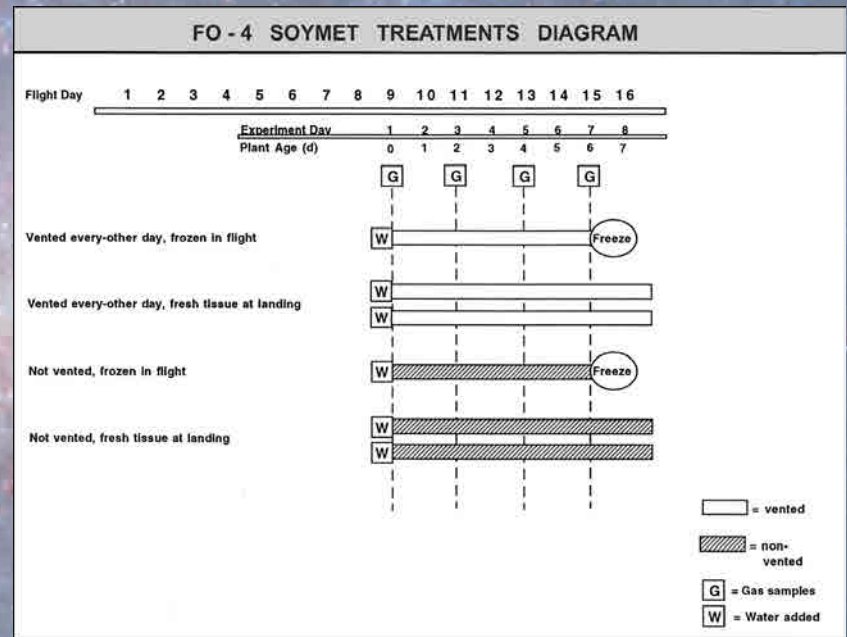
План розподілу тканин в експерименті B-PAC
B-PAC Tissue Allocation Plan



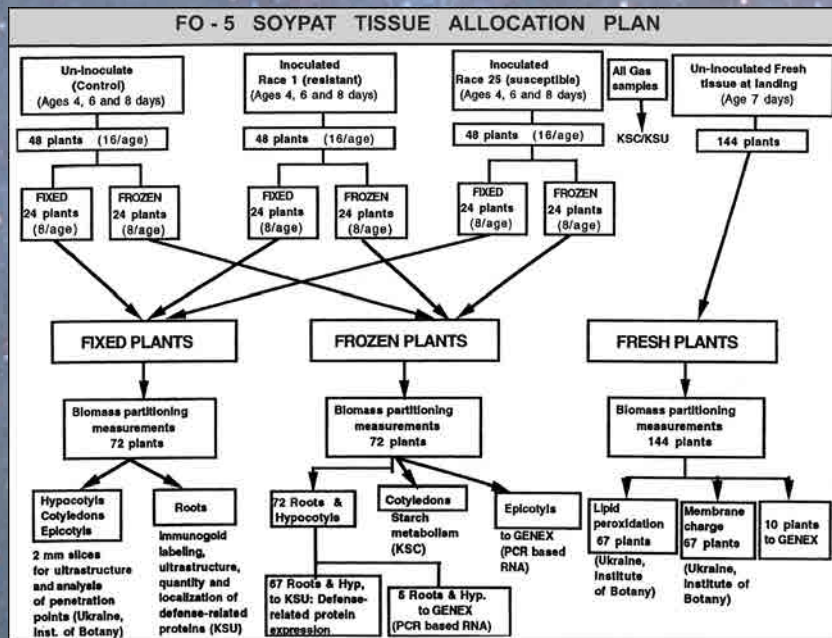
Діаграма обробки матеріалу експерименту B-PAC
B-PAC Treatment Diagram



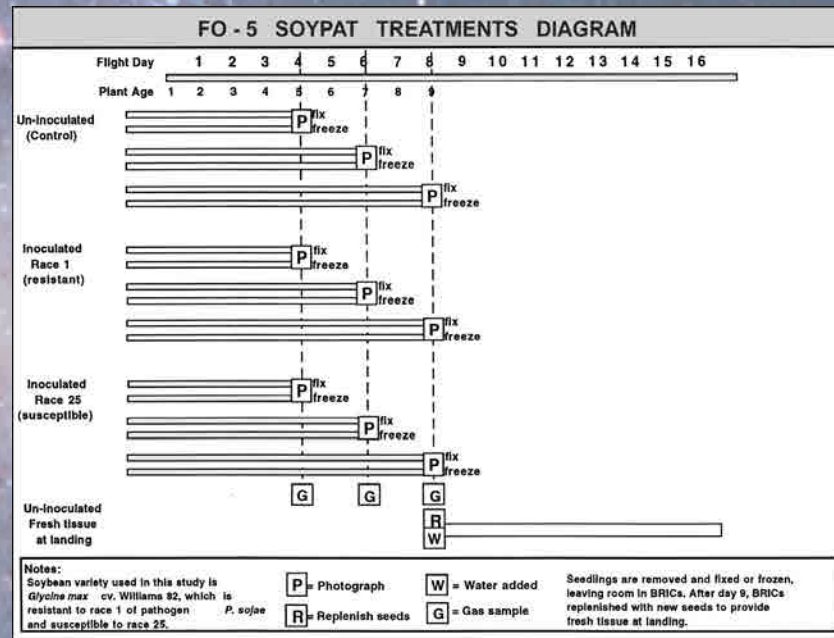
План розподілу польотних зразків в експерименті SOYMET
 SOYMET Flight Sample Allocation Plan



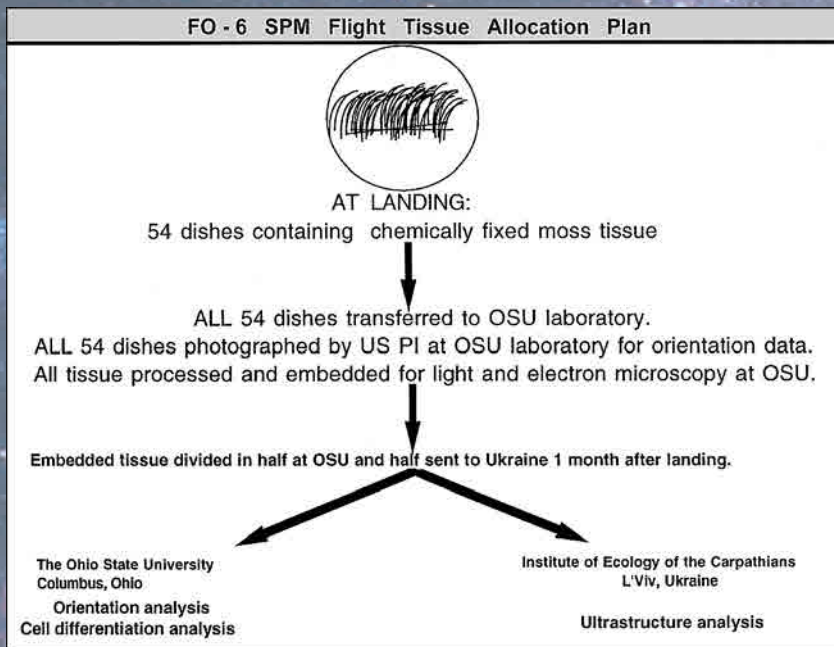
Діаграма обробки матеріалу експерименту SOYMET
 SOYMET Treatment Diagram



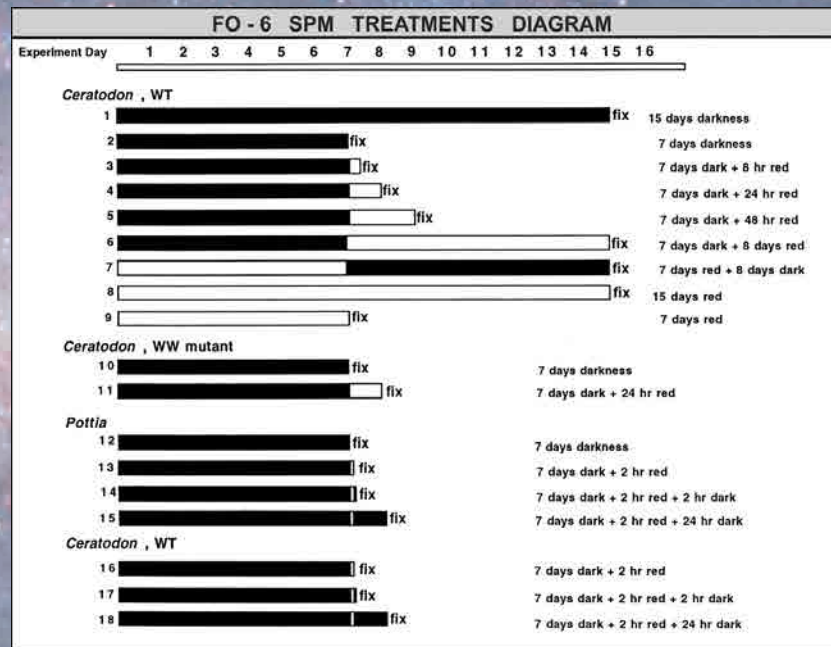
План розподілу тканин в експерименті SOYPAT
SOYPAT Tissue Allocation Plan



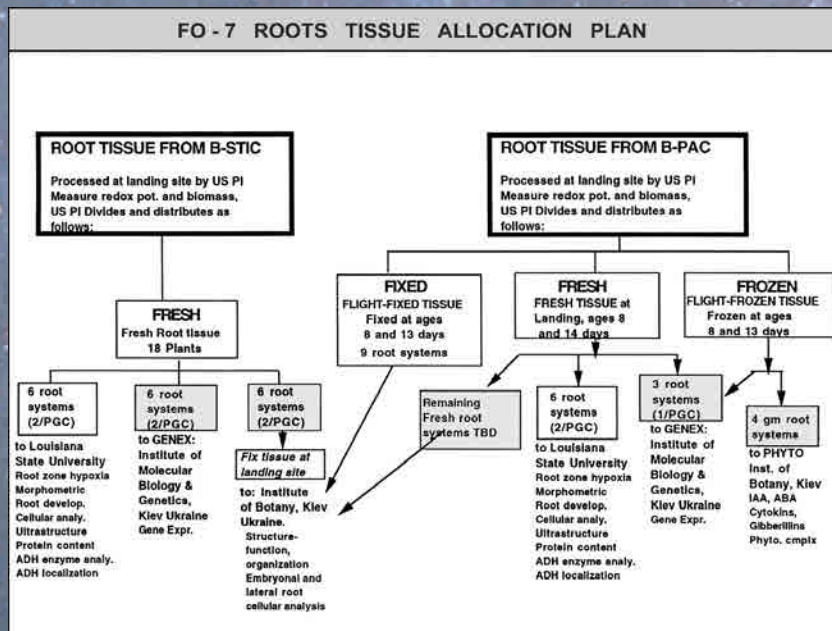
Діаграма обробки матеріалу експерименту SOYPAT
SOYPAT Treatment Diagram



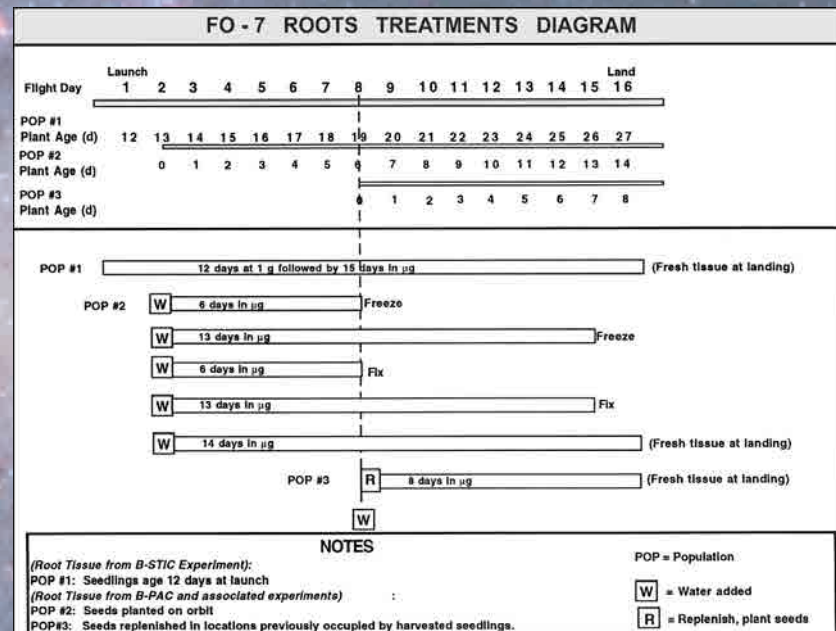
План розподілу польотних зразків в експерименті SPAM
 SPAM Flight Tissue Allocation Plan



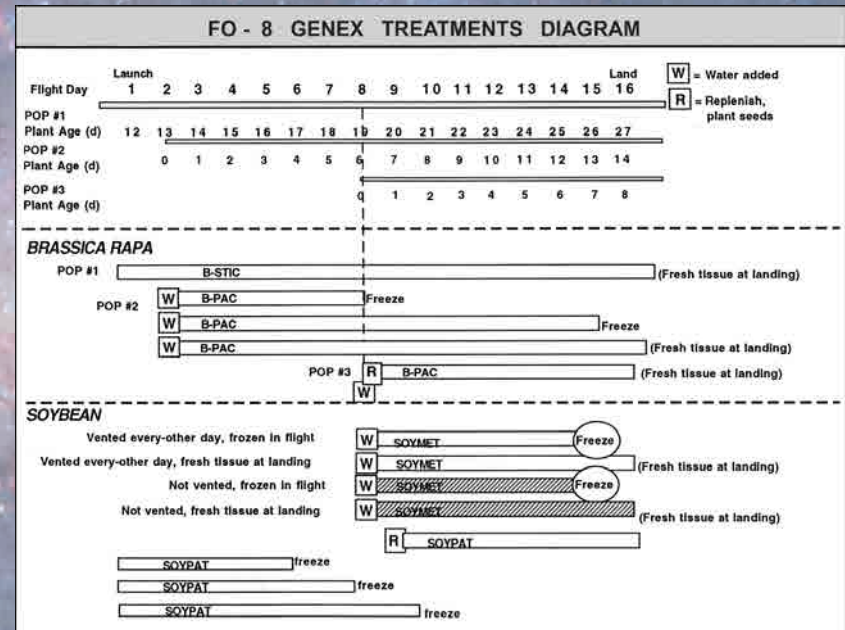
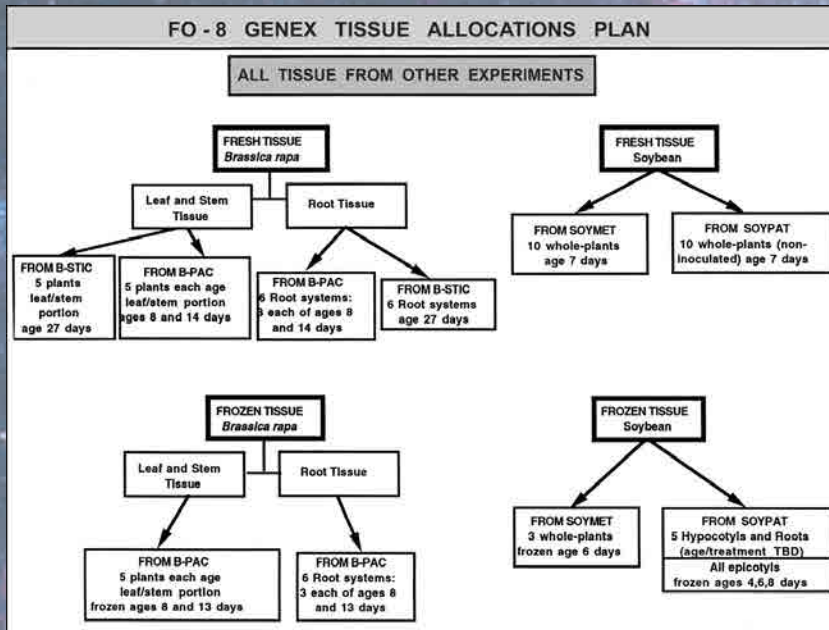
Діаграма обробки матеріалу експерименту SPAM
 SPAM Treatment Diagram



План розподілу тканин в експерименті ROOTS
ROOTS Tissue Allocation Plan

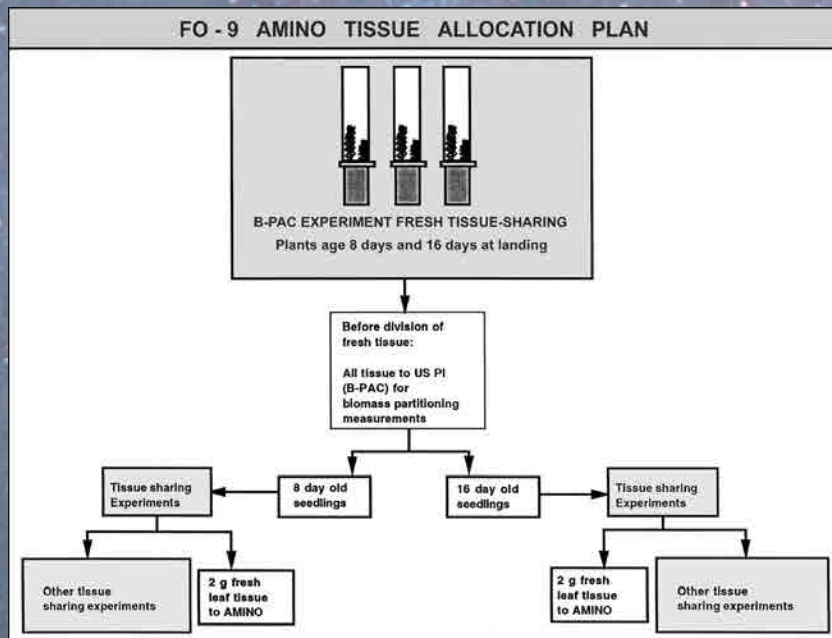


Діаграма обробки матеріалу експерименту ROOTS
ROOTS Treatment Diagram

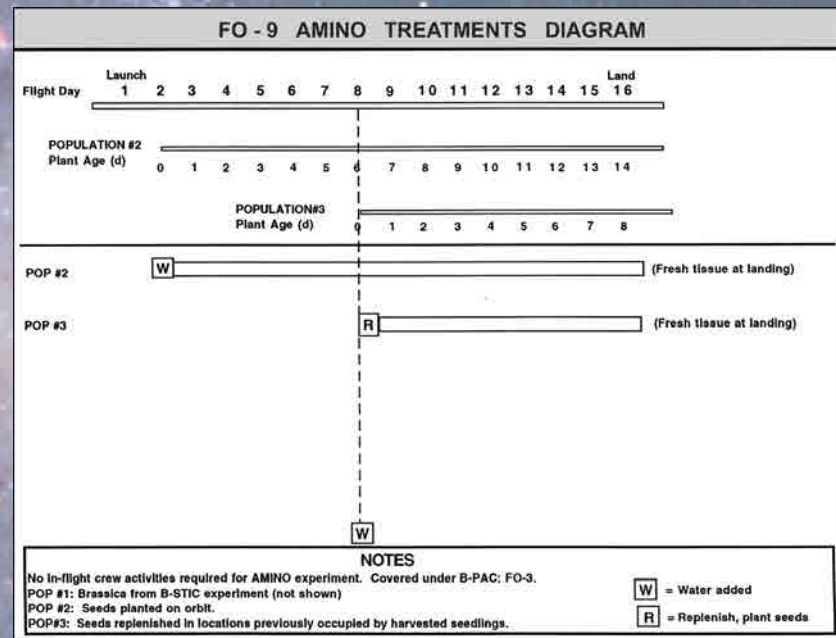


План розподілу польотних тканин в експерименті GENEX
GENEX Tissue Allocation Plan

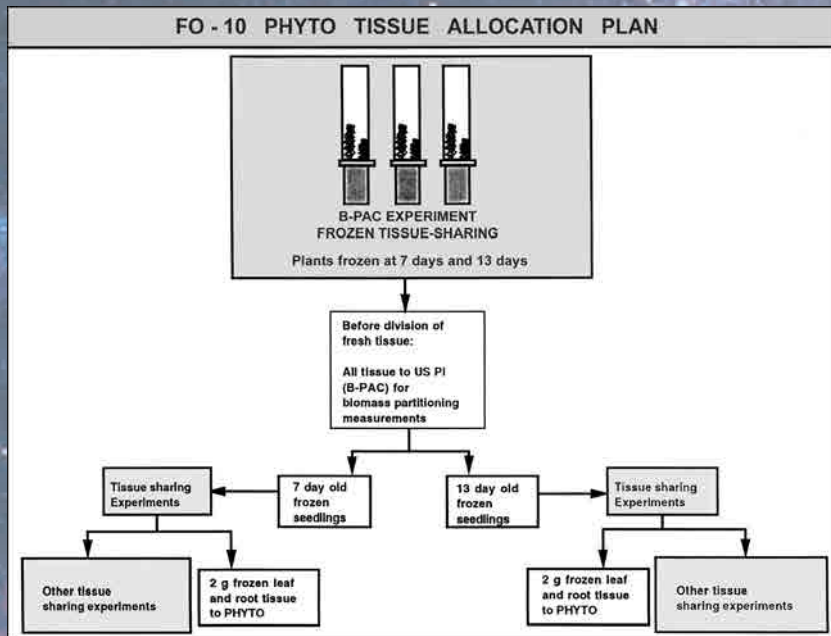
Діаграма обробки матеріалу експерименту GENEX
GENEX Treatment Diagram



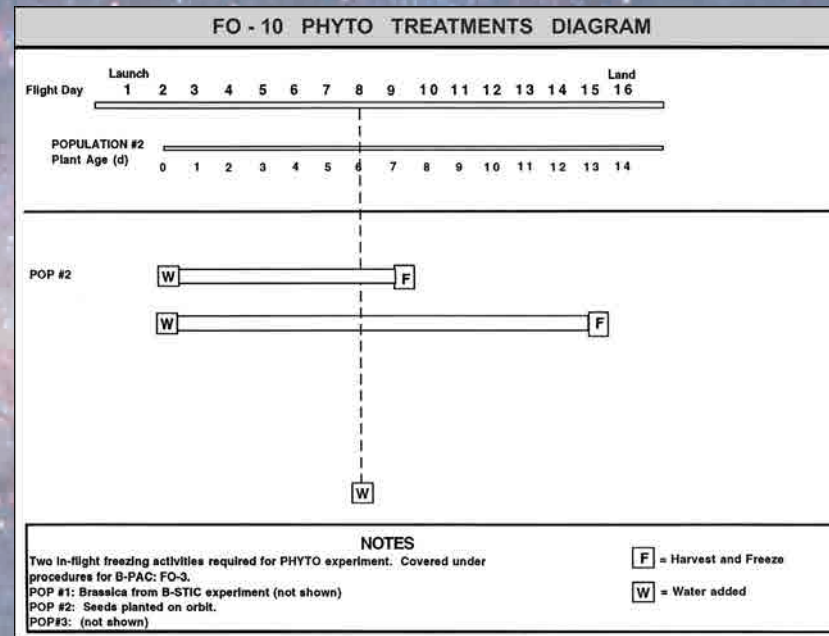
План розподілу польотних тканин в експерименті AMINO
AMINO Tissue Allocation Plan



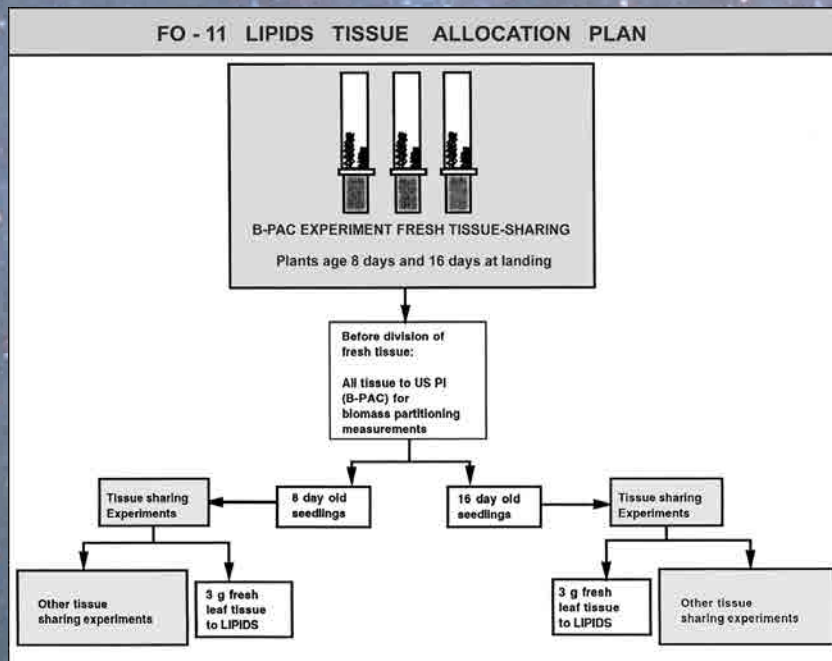
Діаграма обробки матеріалу експерименту AMINO
AMINO Treatment Diagram



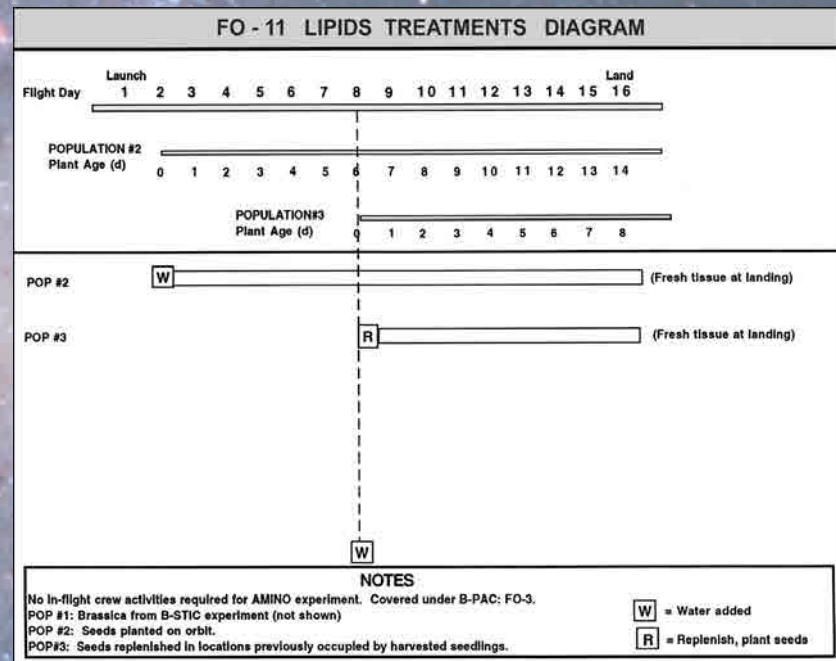
План розподілу тканин в експерименті PHYTO
PHYTO Tissue Allocation Plan



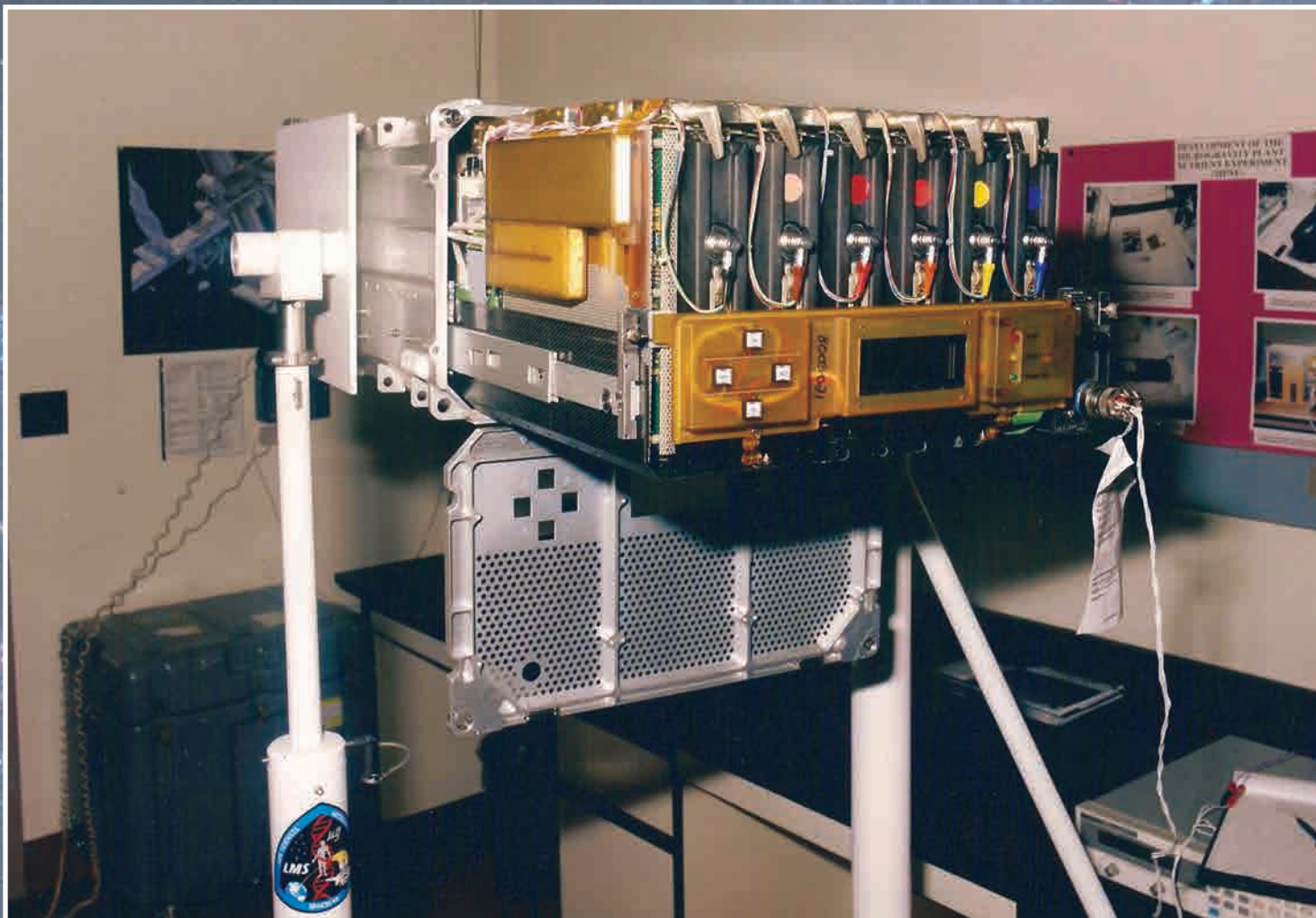
Діаграма обробки матеріалу експерименту PHYTO
PHYTO Treatment Diagram



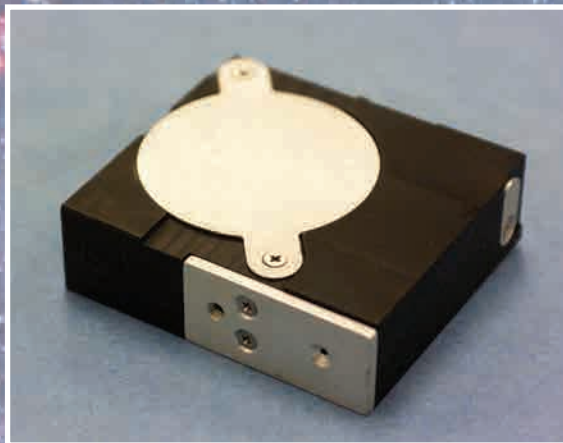
План розподілу польотних тканин в експерименті LIPIDS
LIPIDS Tissue Allocation Plan



Діаграма обробки матеріалу експерименту LIPIDS
LIPIDS Treatment Diagram



Установка
для вирощування
рослин
у Космічному центрі
ім. Кеннеді
Plant Growth
Facility at
Kennedy
Space Center

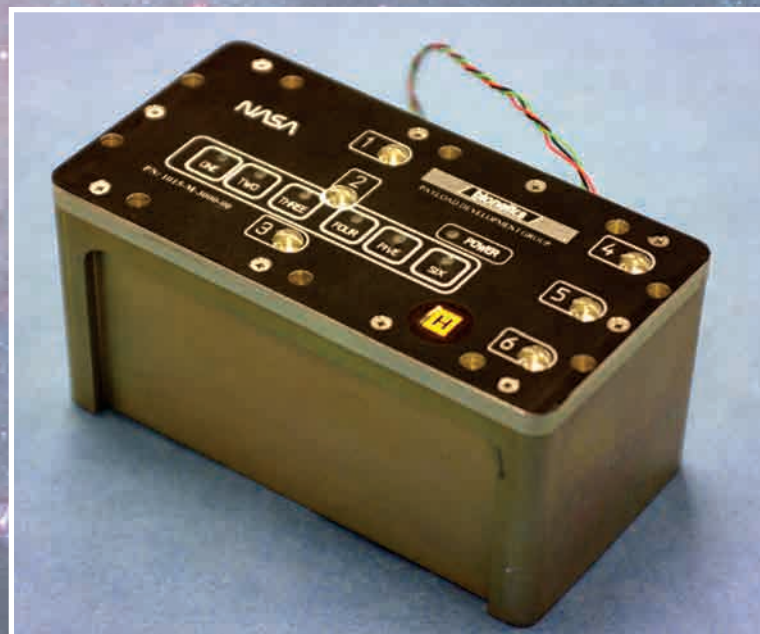


Зібраний тримач
Assembled rack

Розібраний тримач
для чашки Петрі
Non-assembled rack
to hold a Petri dishe



КБД-СВД контейнер для вирощування протонемати моху
BRIC-LED container for moss protonemata growth



Science Milestones

No. 1

The Collaborative Ukrainian Experiment

January 1996

Periodical "Science Milestones", 1996—1998



Офіційна емблема СУАЕ з автографом астронавта
Джона Гленна. Отримана на 12-му симпозиумі
"Людина в космосі" (Вашингтон, червень, 1997)
CUE official patch autographed by Astronaut John Glenn
at the 12th symposium "Man in Space" (Washington, June, 1997)

Science Milestones

No. 13

The Collaborative Ukrainian Experiment

September-October 1998

Періодичне видання "Наукові записки", 1996—1998



Титульна сторінка завершальної доповіді по науковому перевірконому
тесту, зробленої в космічному центрі ім. Кеннеді
Title page of the final report on Science Verification Test
made at Kennedy Space Center



Всі учасники в день відтворювального запуску, 28 вересня 1996 р.

All participants in the morning of the simulated launch, September 28, 1996

1 The Collaborative Ukrainian Experiment SVT Experiment Teams

B-STIC TEAM



Dr. Mary Musgrave
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Anastina Pipova
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Aneta Kuang
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Ms. Ying Xiao
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Ms Sharon W. Matthews
POST-LAUNCH



Dr. Elizabeth Kordyum
POST-LAUNCH

B-PAC TEAM



Dr. Emmanuel Hilaire
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Olena Nedukha
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Svetlana Kochubey
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Jim Guikema
POST-LAUNCH



Dr. Elizabeth Kordyum
POST-LAUNCH



Dr. Viktor Shevchenko
POST-LAUNCH



Dr. Olga Volovic
POST-LAUNCH

2 The Collaborative Ukrainian Experiment SVT Experiment Teams

SOYMET TEAM



Dr. Chris Brown
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Bill Pistoneh
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Monica Sanwo
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Ms. Barb Peterson
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Ms. Liz Stryjewski
POST-LAUNCH



Dr. Olena Nedukha
POST-LAUNCH



Dr. Jim Guikema
POST-LAUNCH

SOYPAT TEAM



Ms. Marietta Ryba-White
PRE-LAUNCH



Dr. Olena Nedukha
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Emmanuel Hilaire
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Jim Guikema
POST-LAUNCH



Dr. Jan Leach
POST-LANDING

3 The Collaborative Ukrainian Experiment SVT Experiment Teams

SPM TEAM



Dr. Volker Kern
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Olexandra Kardash
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Mr. Nathan White
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Ms Tanya Wagner
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Christina Chaban
POST-LAUNCH



Dr. Orest Demkiv
POST-LAUNCH



Dr. Fred Sack
POST-LANDING

ROOTS TEAM



Dr. Mary Musgrave
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Dmitri Klymchuk
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Elizabeth Kordyum
POST-LAUNCH

*Команди SPAM та ROOTS
SPAM and ROOTS Teams*

*Команди D-STIC та B-PAC
B-STIC and B-PAC Teams*

*Команди SOYMET та SOYPAT
SOYMET and SOYPAT Teams*

4 The Collaborative Ukrainian Experiment SVT Experiment Teams

GENEX TEAM



Dr. Victor Prima
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Bill Piastuch
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Kathleen Johnson
PRE-LAUNCH
POST-LAUNCH



Dr. Elena Martimenko
POST-LAUNCH

AMINO PI



Dr. Natalia Zaimenko
POST-LAUNCH

PHYTO PI



Dr. Ludmila Musatenko
POST-LAUNCH

LIPID PI



Dr. Elena Zolotareva
POST-LAUNCH

Команда GENEX та головні виконавці
AMINO, PHYTO, LIPIDS

GENEX Team, AMINO PI, PHYTO PI, LIPIDS PI

Kennedy Space Center CUE SVT Support Team



Cindy Martin
Life Sciences Payload Mission Manager
CUE Mission Manager, NASA



Dr. Bill Knott
Chief, RSC Biological Programs
CUE Mission Scientist, NASA



Dr. Ray Wheeler
NASA Plant Physiologist
CUE Project Scientist, NASA



Rina Thompson
CUE Payload Mission Coordinator
Payload Engineer, Ground Operations
Bionetics Corp



Susan Manning-Roach
Safety & Quality Assurance
Bionetics Corp/ Dynamac Corp



Don Davis
Safety & Quality Assurance
Bionetics Corp/ Dynamac Corp



Peter Chetirkin
Translator
Dynamac Corp



Vera Malinina
Translator



Mike Yelovich
Translator
Dynamac Corp



Kelly Norwood
Payload Engineer
Flight Operations
Bionetics Corp



Debbie Vordermark
Payload Specialist Interface
Crew Trainer
Bionetics Corp



Jacqui VanTwest
Hauger I. Mission Support
Ground Laboratory Preparations
Bionetics Corp



Tom Dreschel
Educational Project
Coordinator
Dynamac Corp



Corey Johnson
Project Science Coordinator
Dynamac Corp



Dave Chapman
Project Science Coordinator
Dynamac Corp

Команда підтримки
Наукового перевірного тесту CUAЕ
Космічного центру ім. Кеннеді
Kennedy Space Center CUE
Science Verification Test Support Team



Польотна емблема 87-її місії
Flight patch for STS-87

Екіпаж 87-ї місії
Flight Crew for STS-87

CUE FLIGHT DAILY SUMMARY



Flight
Day

1

PGF Status Check Information

| FLIGHT UNIT | TEMP (°C) | | Rh % | | CO2 (ppm) | FLM STATUS |
|-------------|-----------|------|---------|------|-----------|---|
| | PGC 01: | 73.5 | PGC 04: | 75.8 | n/a | |
| | PGC 02: | 70.4 | PGC 05: | 68.4 | | |
| | PGC 03: | 87.8 | PGC 06: | 72.2 | | <input checked="" type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF |

1. Science accomplished/completed during this report period
(Include % accomplished, descriptive title, procedure, and any special/unusual observations):
SPM power-up completed and appropriate LEDs turned-on and verified.

PGF Status Check not completed as per nominal procedures. PGF not communicating with PGSC. Unable to work problem before pre-sleep cut-off. PGF data taken manually and called-down. No science loss as data is nominal and PGF is functioning properly - however continued loss of hardware data may impact science from inability to track trends in data.

2. Hardware Summary:
SPM nominal operations.

PGF off-nominal operation in PGSC download. PGF functions for environmental operations appear to be functioning nominally

3. Problems/concerns/workarounds:
Preparing series of options for PGF communications fix to send up for execute package.

4. Science/operations summary for the crew:
SPM and PGF functions nominal with exception of PGF data download

Зведення 1-го дня польоту СУАЕ
CUE Flight Summary for Day 1

CUE FLIGHT DAILY SUMMARY



Flight
Day

8

BLUESU
Event Type BLUESUM

PGF Status Check Info

| FLIGHT UNIT | TEMP (°C) | | Rh % | | CO2 (ppm) | FLM STATUS |
|------------------|-----------|-----|---------|-----|-----------|---|
| | PGC 01: | 67/ | PGC 04: | 70/ | 1621/ | |
| 1st & 2nd Checks | PGC 02: | 63/ | PGC 05: | 62/ | | |
| | PGC 03: | 65/ | PGC 06: | 56/ | | <input checked="" type="radio"/> ON <input type="radio"/> OFF |

1. Science accomplished/completed during this report period
(Include % accomplished, descriptive title, procedure, and any special/unusual observations):

- * Nominal PGF Status check with immediate OCA downlink showed good temperatures and CO2 values.
- * Nominal BPAC Harvest #1 with replenishment. It was noted that some(?) seeds in the replenishment packets appeared to have germinated. Close-up video was recorded.
- * The third use of the CUE galley water filters (CUE Water Prep) was nominal. Uncertain whether a request for video recording was performed.
- * SPM Fixation #1 was performed - nominal ops
- * Initiation of SOYMET canisters 1 & 2 was completed - nominal ops
- * Gas sampling of SOYMET canisters 1 & 2 was also completed with nominal ops.
- * SPM Fixation #2 was performed four hours after SPM Fixation #1-nominal ops

2. Hardware Summary:
* Successful firing of all but three of the remaining KFTs during BPAC Harvest #1
* PGF temps and CO2 levels are with range
* The PGF IFM to provide cool air to the PGF from the middeck trunk line was performed at 07/11:01. The PGF door was then closed and temp strip readings (PGF front door) were taken every 30 min for four hours to establish a baseline for PGF inlet temp to maintain Ground Control offset.

3. Problems/concerns/workarounds:
No problems in work at this time. Still evaluating the effects of PGF IFM for cooling.

4. Science/operations summary for the crew:
Another 100% science accomplished day. The efforts the crew has made to keep the PGF cool have resulted in temperatures within nominal range for plant growth and reproduction - their efforts are extremely appreciated. The digital photos from SOYPAT Harvest #3 provided excellent data for the planning of SOYPAT Replenishment; the photos also showed healthy plants at the right stage AND excellent germination - we have very happy PIs

Зведення 8-го дня польоту СУАЕ
CUE Flight Summary for Day 8

CUE GROUND CONTROLS DAILY SUMMARY



Flight
Day

1

PGF Status Check Information

| GROUND UNIT | TEMP (°C) | | Rh % | | CO2 (ppm) | FLM STATUS |
|-------------|-----------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| | PGC 01 | PGC 02 | PGC 03 | PGC 04 | PGC 05 | |
| | 23.3 | 21.7 | 22.7 | 21.2 | 24.0 | 24.0 |
| | 76 | 80 | 60 | 76 | 77 | 66 |
| | | | | | | 1330 |
| | | | | | | ● ON ○ OFF |

1. Science accomplished/completed during this report period (Include descriptive title, procedure, and any special/unusual observations):

Launch was initiated and SPM and PGF were activated.
Galley water removed from refrigeration, covered with foil, and placed in OES.

2. Hardware Summary:

PGF was initiated and systems were nominal.
SPM was powered up and all systems were nominal.

3. Problems/concerns/workarounds:

Question arose on whether PGF status check to be obtained from PGF console or computer. Decision made to obtain data from the computer. Data download to diskette.

4. Science/operations summary for the crew:

All systems were nominal.

CUE GROUND CONTROLS DAILY SUMMARY



Flight
Day

8

PGF Status Check Information

| GROUND UNIT | TEMP (°C) | | Rh % | | CO2 (ppm) | FLM STATUS |
|-------------|-----------|--------|--------|--------|-----------|------------|
| | PGC 01 | PGC 02 | PGC 03 | PGC 04 | PGC 05 | |
| | 27.0 | 25.4 | 26.4 | 25.3 | 28.9 | 27.6 |
| | 83 | 87 | 66 | 79 | 78 | 72 |
| | | | | | | 1407 |
| | | | | | | ● ON ○ OFF |

1. Science accomplished/completed during this report period (Include descriptive title, procedure, and any special/unusual observations):

BPAC: Harvest #1: Fixation operation was nominal. Freezing operation was nominal. Replenishment operation: Seed packets had begun to germinate with hypocotyl emergence noted. This was observed in all packets. Replenishment packets were dry to the touch, but had a "musty" aroma. A green growth (unable to determine whether fungal or bacterial in origin) was noted around the seeds which appeared to be associated with the adhesive material. Digital photos of seed packets were obtained. Remaining replenishment operations were nominal.

SPM: Fixation #1 operation was nominal following alignment BRIC-LED actuator gun (See summary below).
Fixation #2 operation was nominal.

SOYMET: All operations, CUE water preparation, SOYMET initiation, and SOYMET gas sampling, were nominal.

2. Hardware Summary:

PGF: Air temperature was cool (20-22 C) in PGC's 1-4 during initial status check, but nominal during second check. 78 ml of H2O were removed from plenum. Only PGC #1 was drained.

KFT: Operations nominal.

BRIC-LED Actuator Tool: Actuator gun bent several rods. Crew fixed real time.

3. Problems/concerns/workarounds:

The SPM fixation actuator tool was not firing in the horizontal position. It was bending the actuator rods. Crew determined that rod was too far into the gun. Action: Crew made alignment adjustments real time prior to SPM fixation procedures.

4. Science/operations summary for the crew:

BPAC operations were nominal. The impact of seed germination on growth not known. Germination was not as advanced at seeds on the flight.

SOYMET: The experiment was successfully initiated.

SPM: The fixations were successfully completed.

Зведення 1-го дня наземного контролю СУАЕ

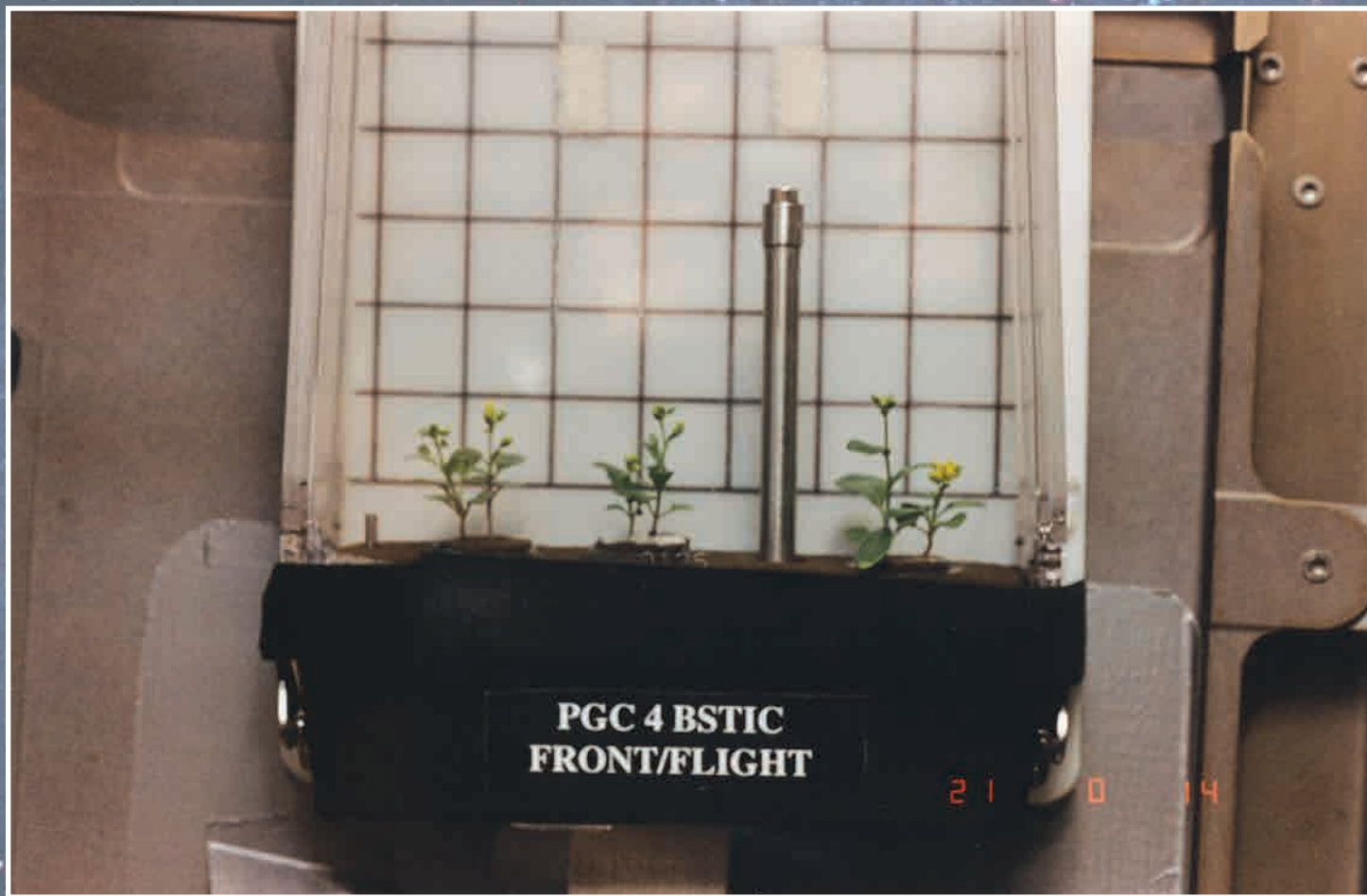
CUE Ground Control for Day 1

Зведення 8-го дня наземного контролю СУАЕ

CUE Ground Control for Day 8

*Дублер космонавта-дослідника
Ярослав Пустовий виконує операції
з наземного контролю СУАЕ в відтворювачі
орбітального оточуючого середовища
CUE Ground Control Operations
in Orbiter Environmental Simulator conducted
by Alternate Payload Specialist
Jaroslav Pustovyi*





*Польотні рослини експерименту B-STIC (камера PGC 4), вік рослин 14 днів (2-й день польоту)
B-STIC flight plants, plant age 14 days (flight day—2)*



Польотні рослини експерименту В-СТІС, вік рослин 15 днів (3-й день польоту)
B-STIC flight plants, plant age 15 days (flight day— 3)



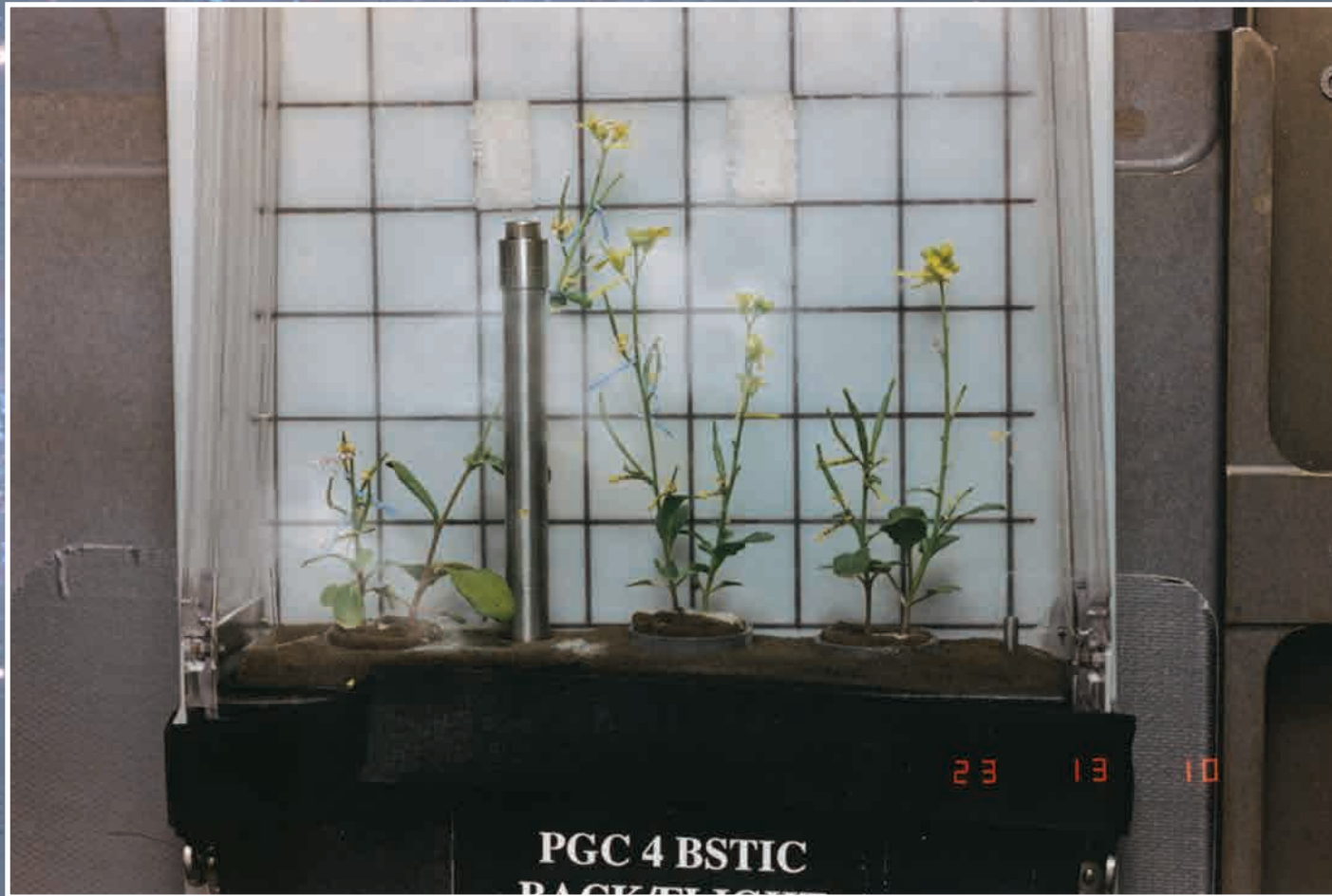
*Польотні рослини експерименту B-STIC, вік рослин 16 днів (4-й день польоту)
B-STIC flight plants, plant age 16 days (flight day—4)*



Польотні рослини зі стручками експерименту B-STIC, вік рослин 18 днів (6-й день польоту)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 18 days (flight day—6)



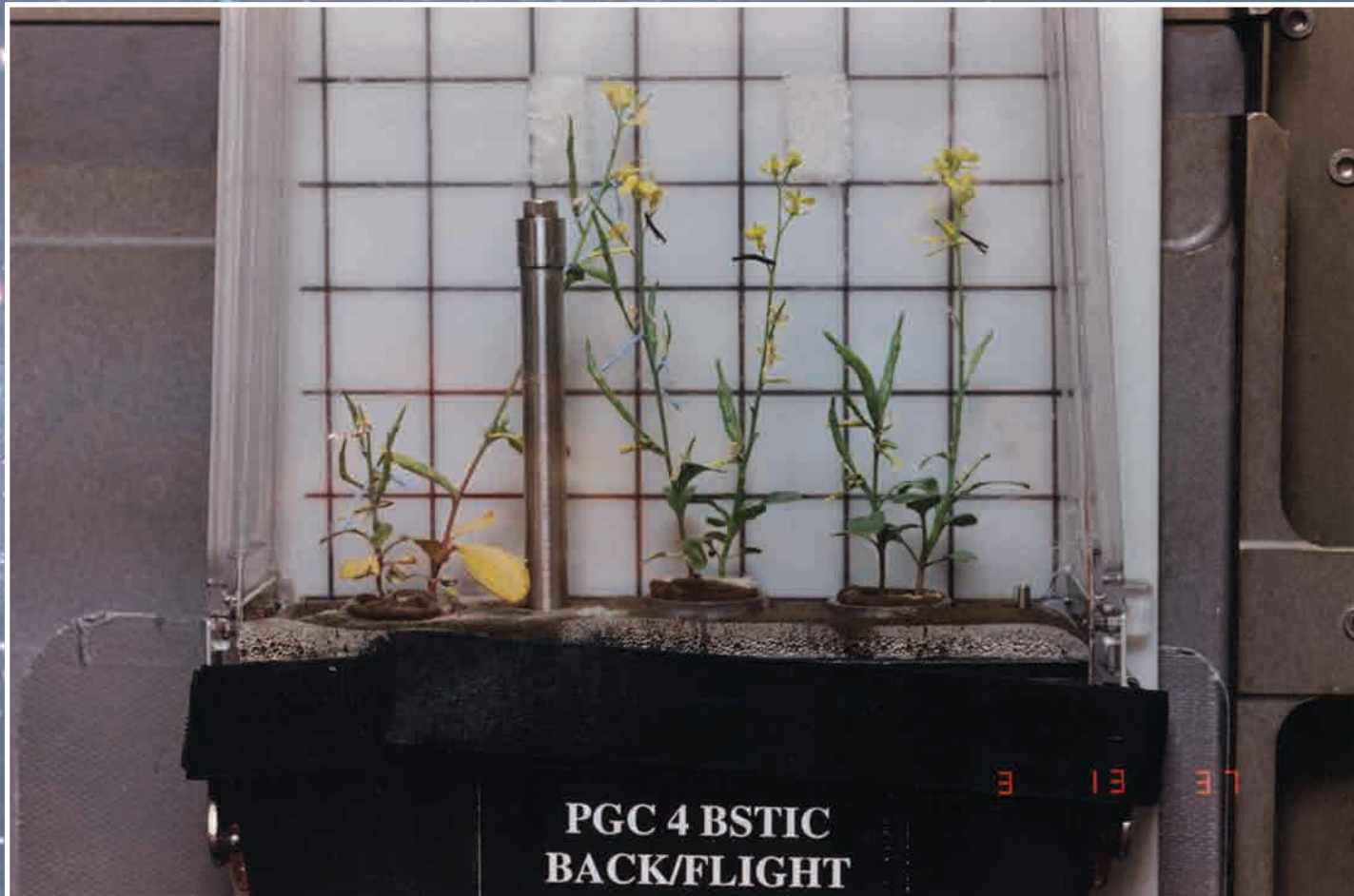
Польотні рослини зі стручками експерименту B-STIC, вік рослин 19 днів (7-й день польоту)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 19 days (flight day—7)



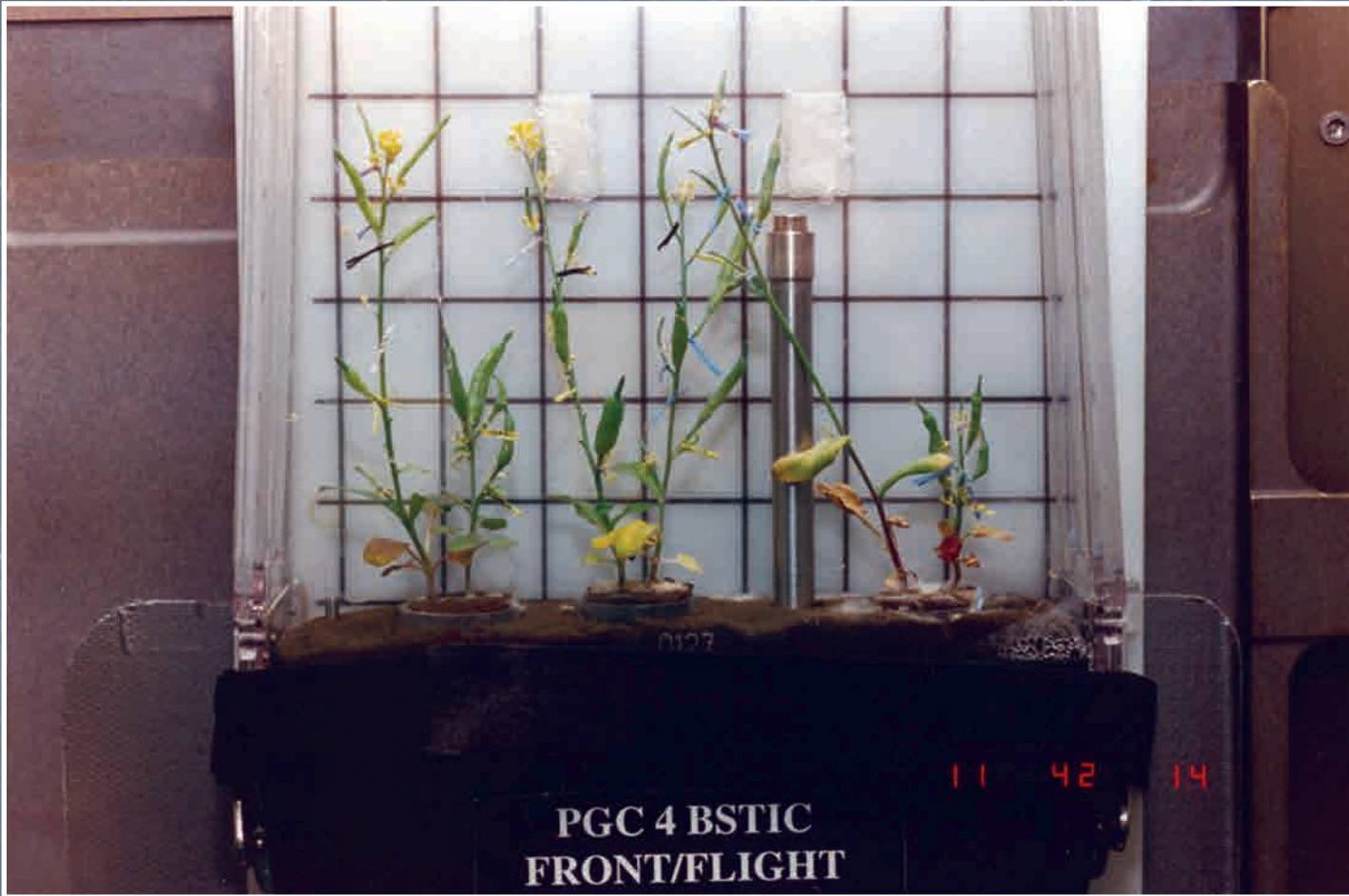
Польотні рослини зі стручками експерименту B-STIC, вік рослин 19 днів, 7-й день польоту (зворотній бік)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 19 days (flight day—7), (back view)



Польотні рослини зі стручками експерименту В-СТІС, вік рослин 21 день (9-й день польоту)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 21 days (flight day—9)



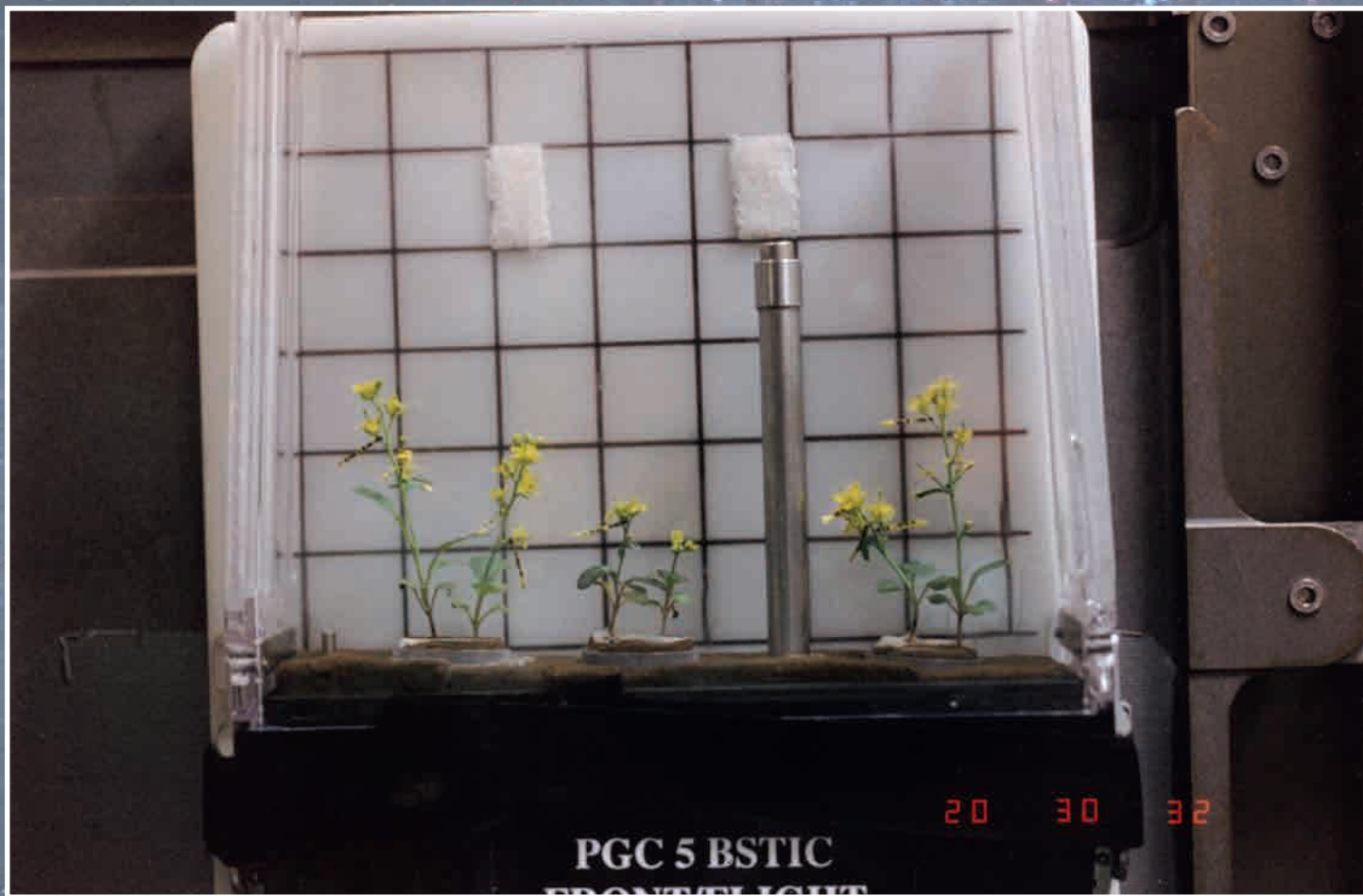
Польотні рослини зі стручками експерименту B-STIC, вік рослин 21 день, 9-й день польоту (зворотній бік)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 21 days (flight day—9), (back view)



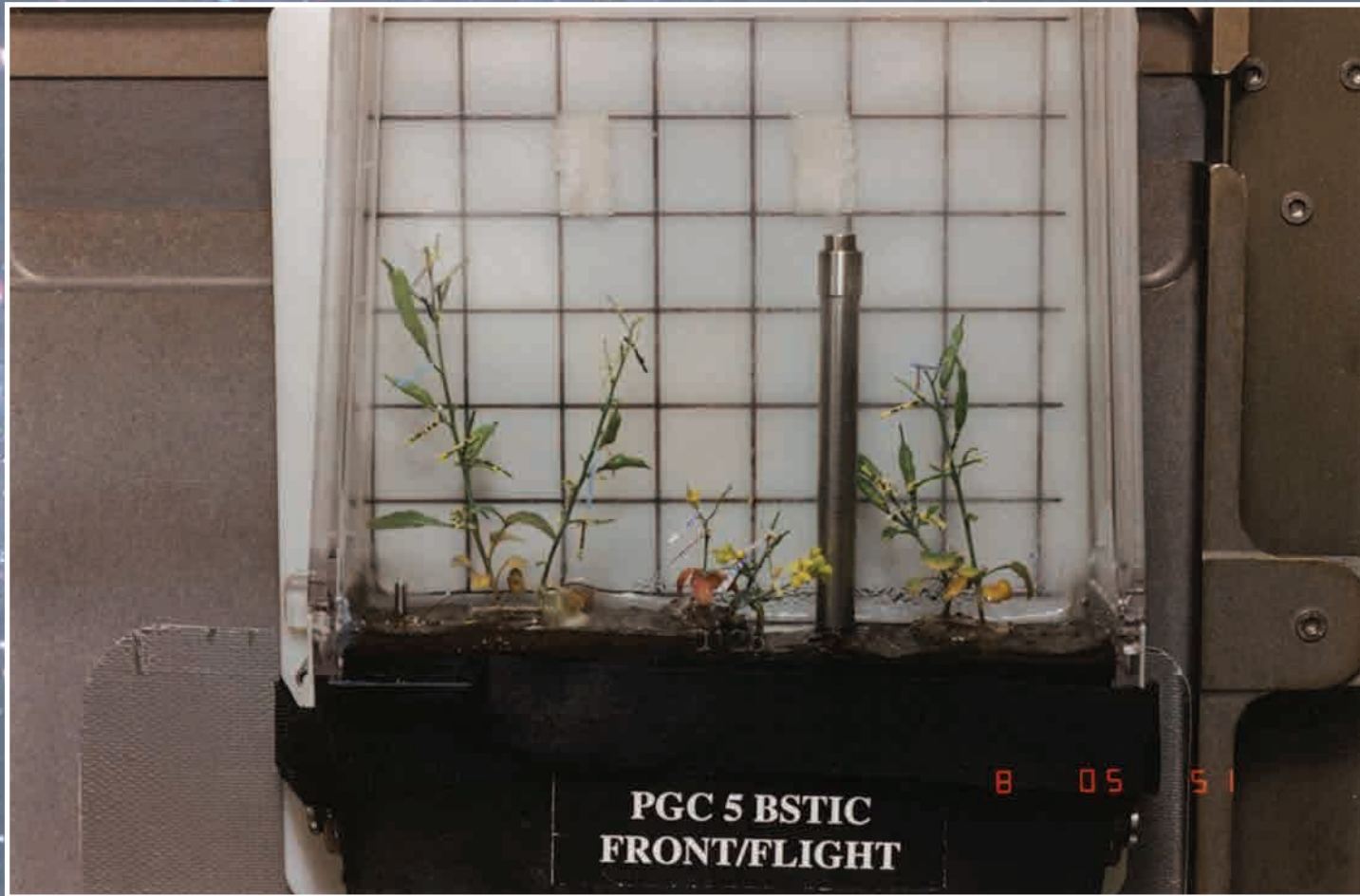
Польотні рослини зі стручками експерименту В-STIC, вік рослин 26 днів (14-й день польоту)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 26 days (flight day—14)



Польотні рослини зі стручками експерименту B-STIC, вік рослин 27 днів (15-й день польоту)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 27 days (flight day—15)



Польотні рослини експерименту В-STIC (камера PGC 5), вік рослин 16 днів (4-й день польоту)
B-STIC flight plants, plant age 16 days (flight day—4)



Польотні рослини зі стручками експерименту В-STIC, вік рослин 26 днів (14-й день польоту)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 26 days (flight day—14)



Польотні рослини зі стручками експерименту B-STIC, вік рослин 27 днів (15-й день польоту)
B-STIC flight plants with siliques, plant age 27days (flight day—15)



Польотні рослини експерименту В-РАС (камера PGC 1), вік рослин 2 дні (4-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 2 days (flight day—4)



Польотні рослини експерименту В-РАС, вік рослин 4 дні (6-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 4 days (flight day—6)



Польотні рослини експерименту В-РАС, вік рослин 5 днів (7-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 5 days (flight day—7)



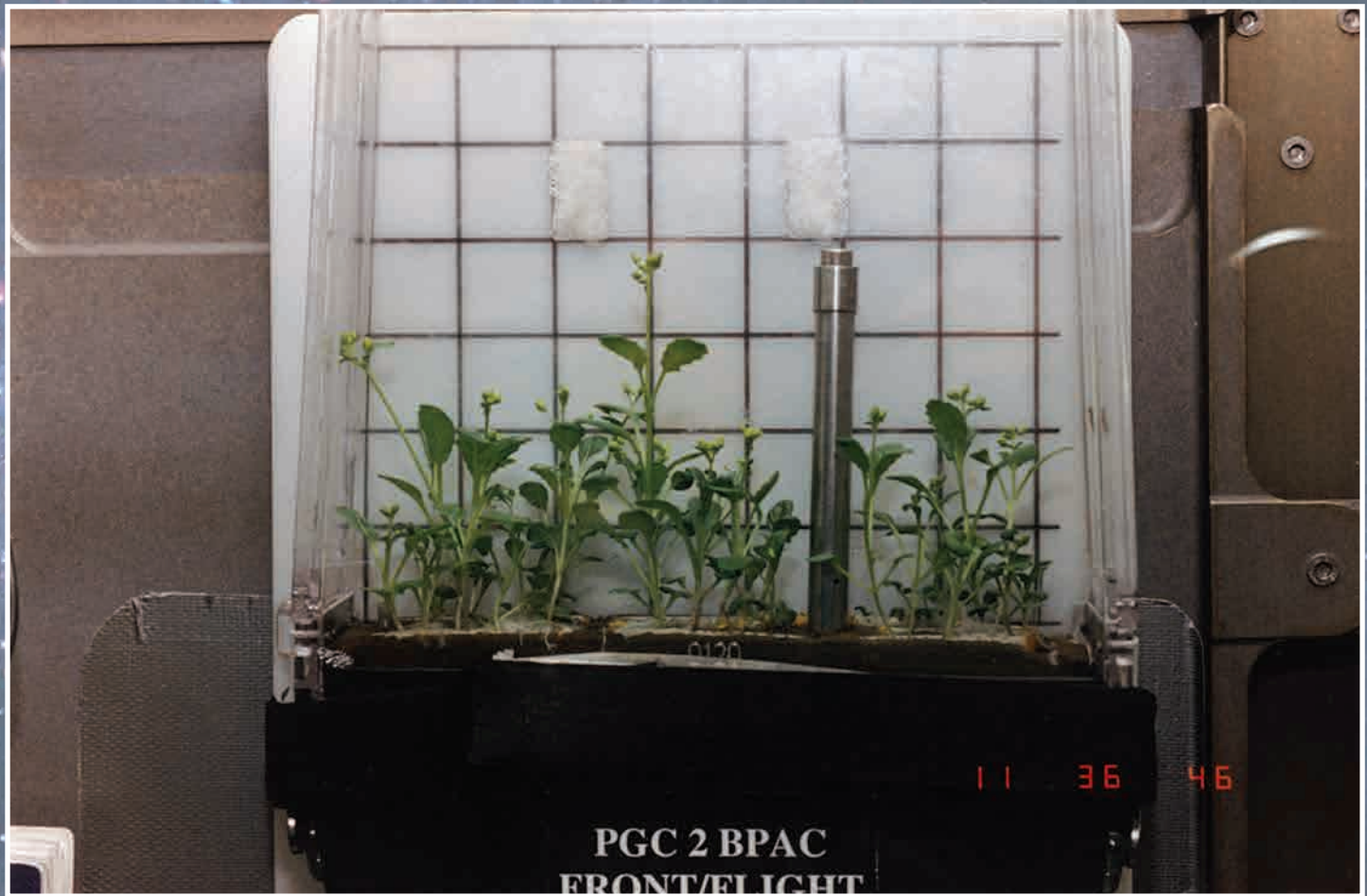
Польотні рослини експерименту В-РАС, вік рослин 11 днів (13-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 11 days (flight day—13)



Польотні рослини експерименту В-РАС, вік рослин 12 днів (14-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 12 days (flight day—14)



Польотні рослини експерименту В-РАС, вік рослин 13 днів (15-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 13 days (flight day—15)



Польотні рослини експерименту В-РАС (камера PGC 2), вік рослин 11 днів (13-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 11 days (flight day—13)



Польотні рослини експерименту В-РАС, вік рослин 12 днів (14-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 12 days (flight day—14)



Польотні рослини експерименту В-РАС (камера PGC 3), вік рослин 11 днів (13-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 11 days (flight day—13)



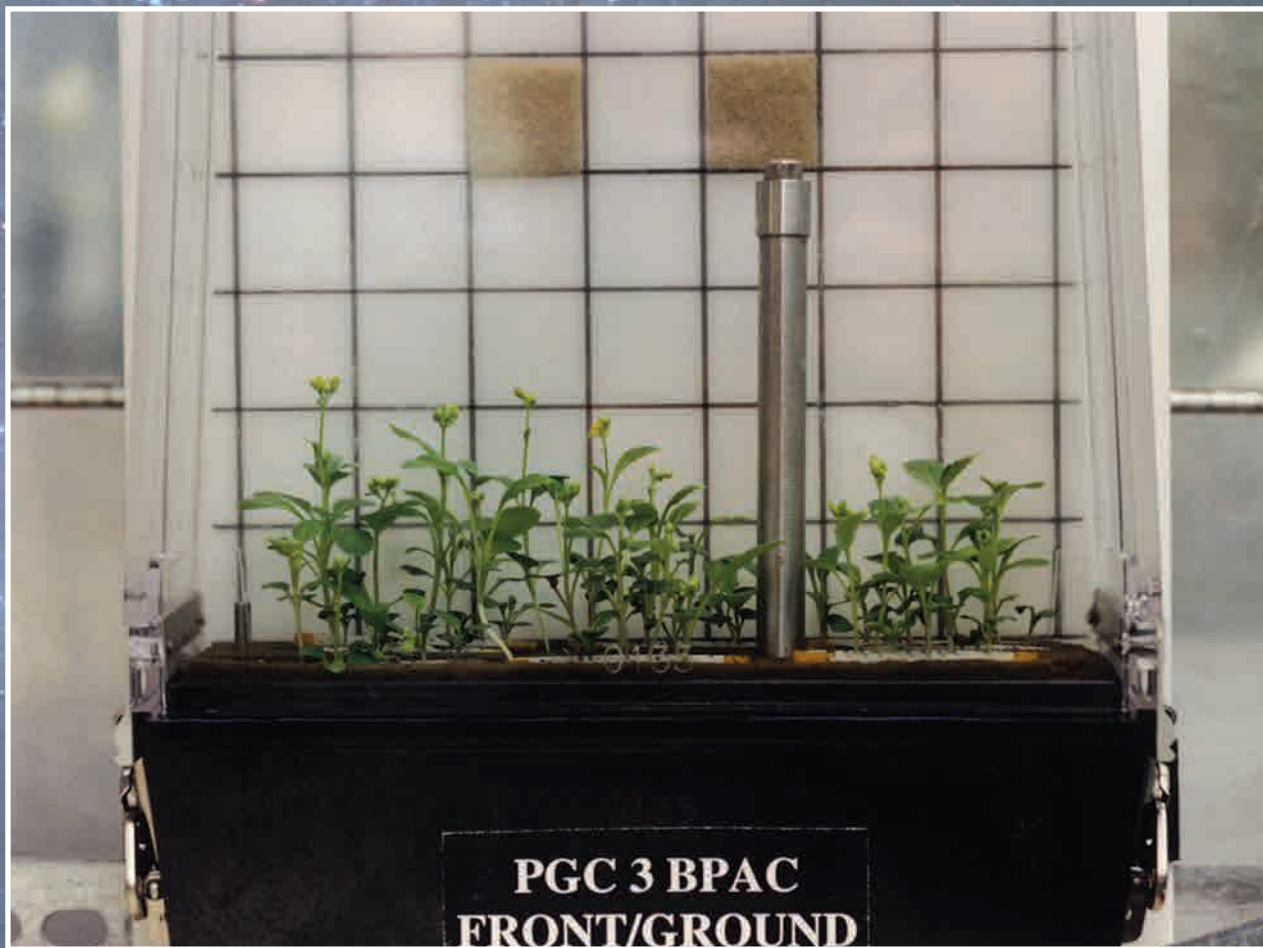
Польотні рослини експерименту В-РАС, вік рослин 12 днів (14-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 12 days (flight day—14)



Польотні рослини експерименту В-РАС, вік рослин 13 днів (15-й день польоту)
B-PAC flight plants, plant age 13 days (flight day—15)



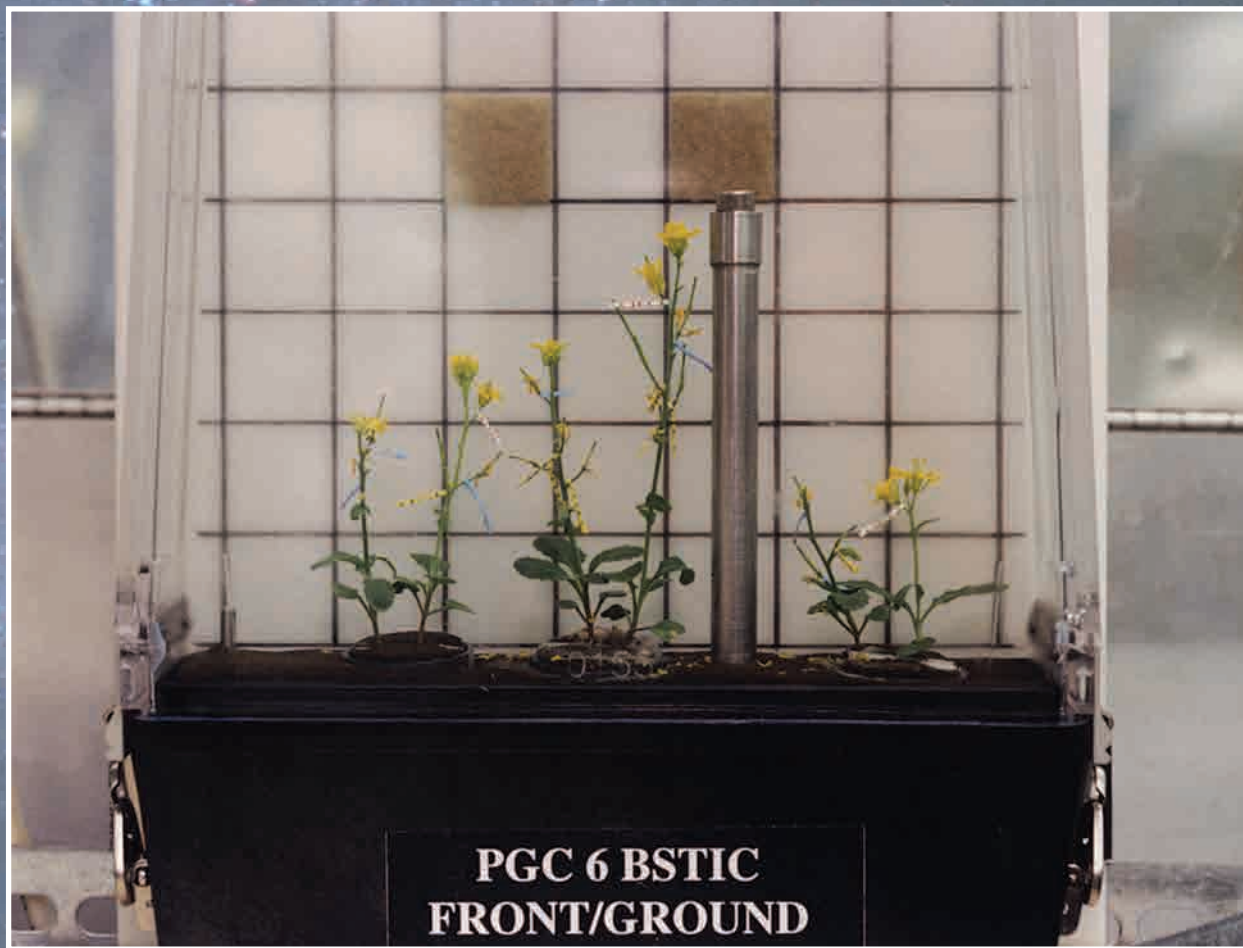
*Рослини наземного контролю експерименту В-РАС (камера PGC 3), вік рослин 5 днів
B-PAC ground control plants, plant age 5 days*



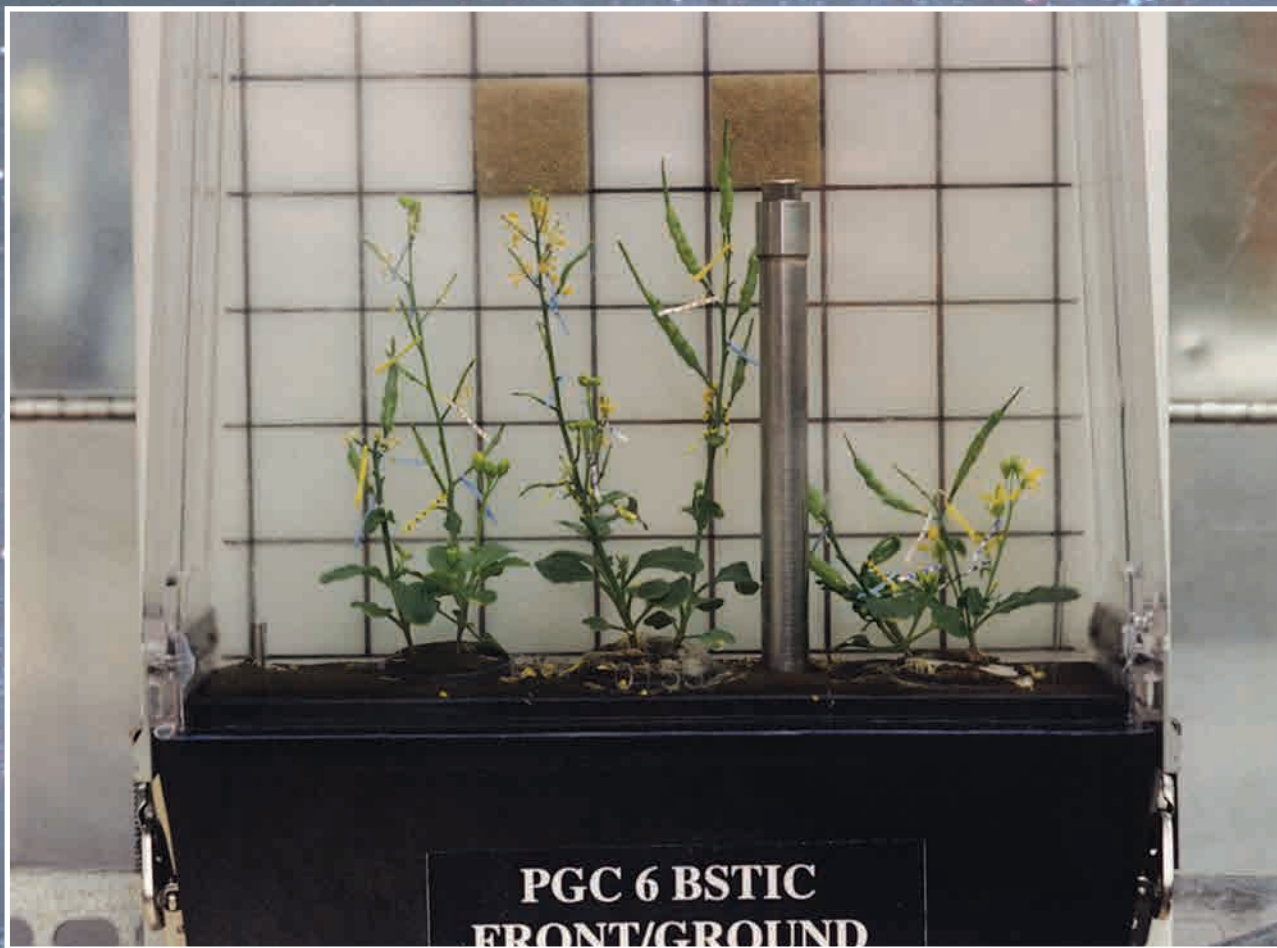
Рослини наземного контролю експерименту В-РАС, вік рослин 12 днів
B-PAC ground control plants, plant age 12 days



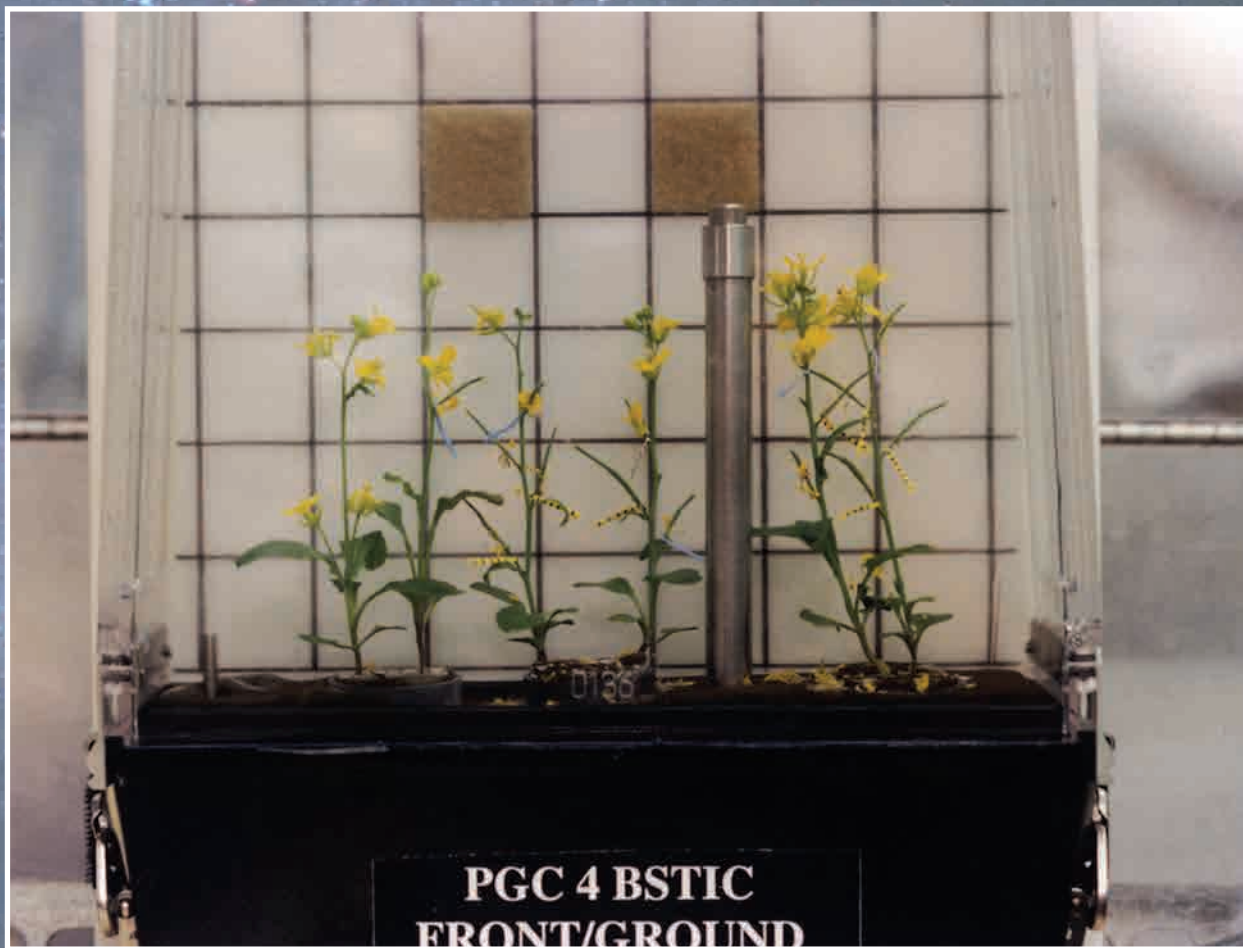
*Рослини наземного контролю експерименту B-STIC (камера PGC 6), вік рослин 18 днів
B-STIC ground control plants, plant age 18 days*



Рослини наземного контролю експерименту В-STIC, вік рослин 20 днів
B-STIC ground control plants, plant age 20 days



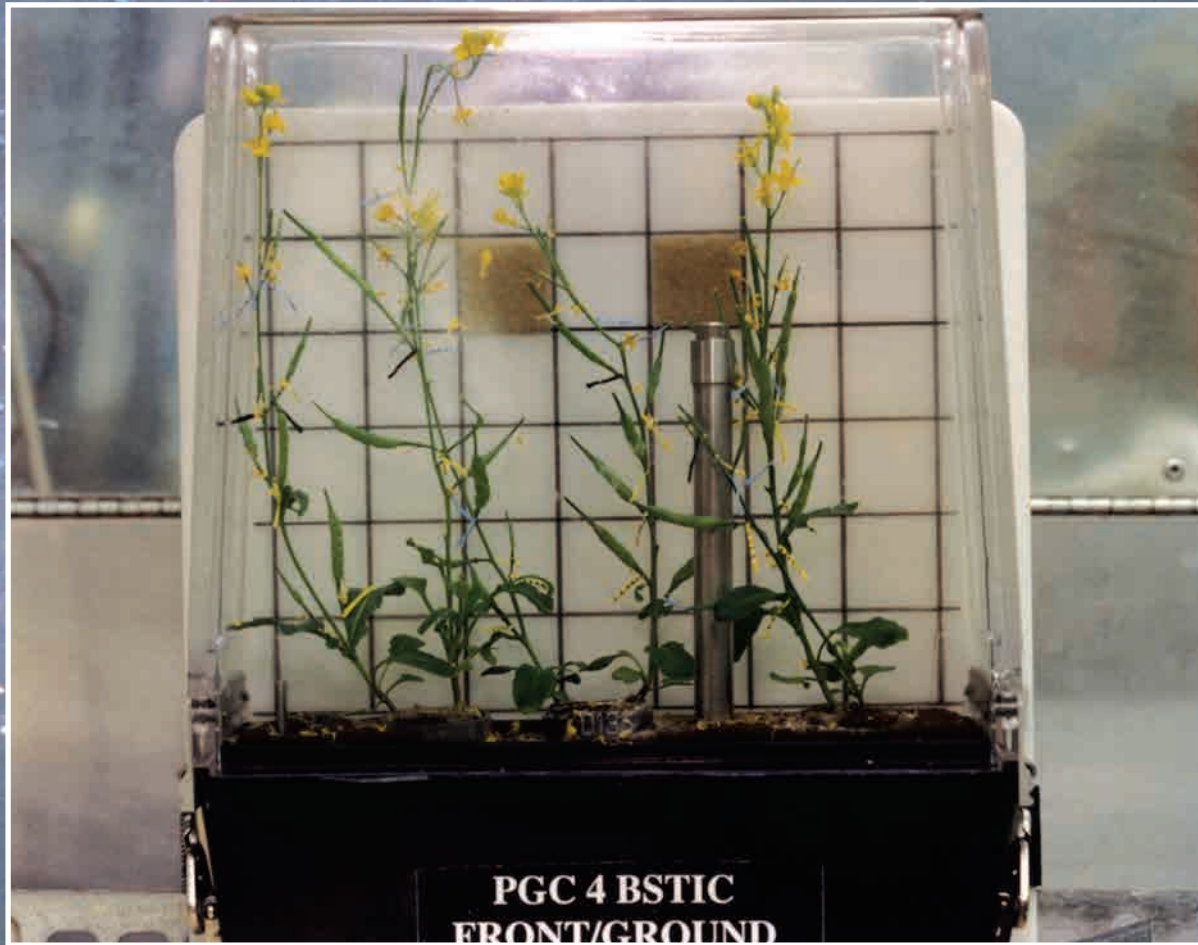
Рослини наземного контролю експерименту B-STIC, вік рослин 28 днів
B-STIC ground control plants, plant age 28 days



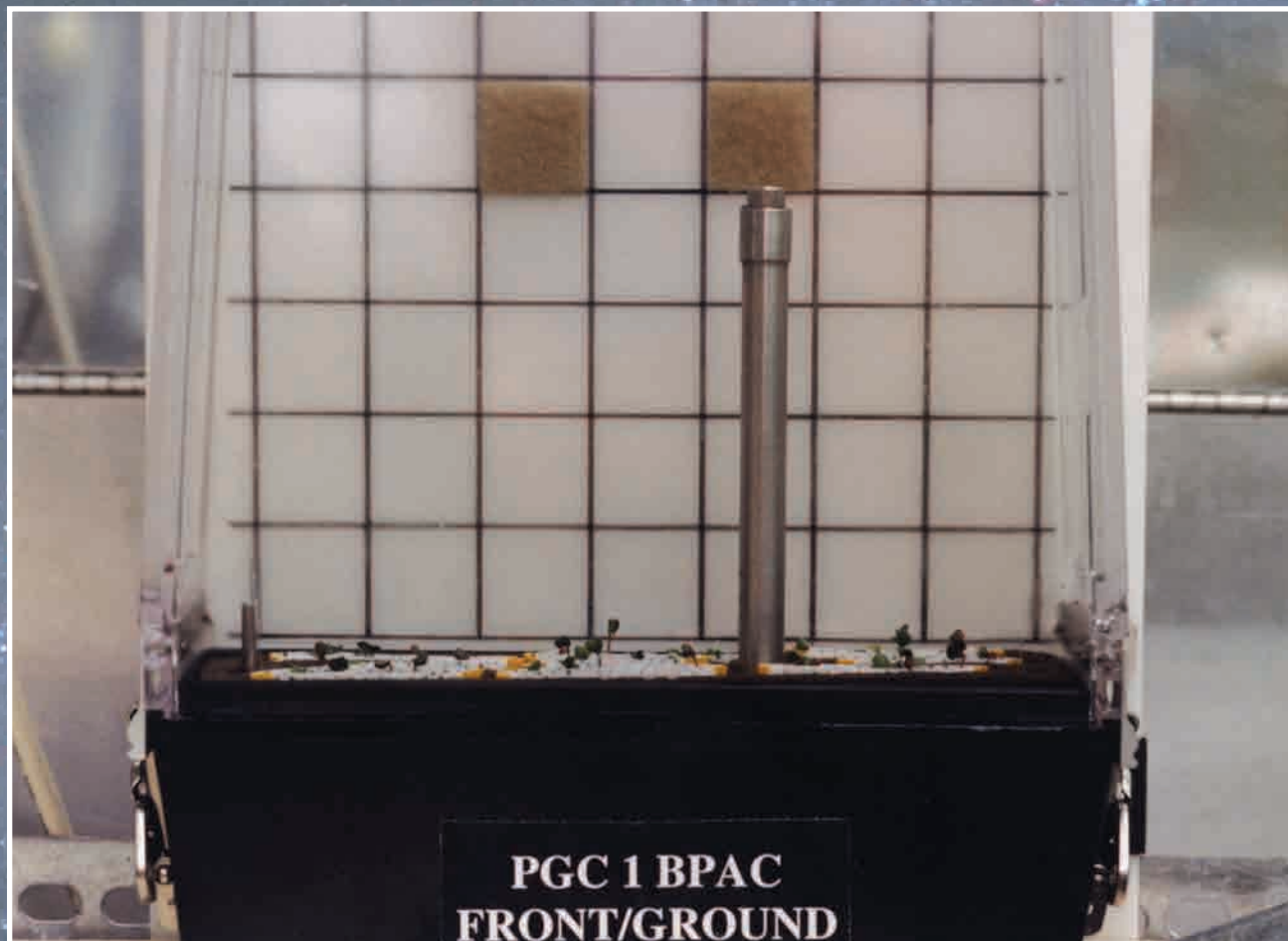
Рослини наземного контролю експерименту В-STIC (камера PGC 4), вік рослин 20 днів
B-STIC ground control plants, plant age 20 days



Рослини наземного контролю експерименту B-STIC, вік рослин 27 днів
B-STIC ground control plants, plant age 27 days



Рослини наземного контролю експерименту B-STIC, вік рослин 28 днів
B-STIC ground control plants, plant age 28 days



*Рослини наземного контролю експерименту В-РАС (камера PGC 1), вік рослин 1 день
B-PAC ground control plants, plant age 1 day*



Рослини наземного контролю експерименту В-РАС, вік рослин 5 днів
B-PAC ground control plants, plant age 5 days



*Польотні проростки сої,
інокульовані Phytophthora
sojae у модифікованому
ростовому контейнері
(3-й день польоту)*

*Flight soybean seedlings
inoculated with Phytophthora
in a modified growth pouch
(flight day — 3)*

Польотні проростки сої,
інокульовані *Phytophthora*
sojae у модифікованому
ростовому контейнері
(6-й день польоту)

Flight soybean seedlings
inoculated with Phytophthora
sojae in a modified growth
pouche (flight day — 6)





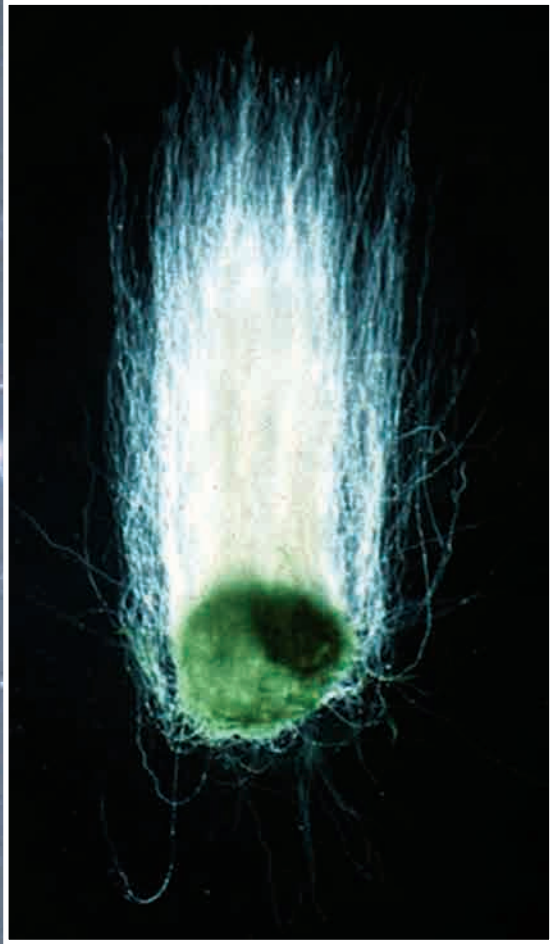
Польотні проростки
сої, інюльовані
Phytophthora sojae
у модифікованому
ростовому контейнері
(7-й день польоту)

Flight soybean
seedlings inoculated
with *Phytophthora*
in a modified
growth pouch
(flight day — 7)

Польотні проростки сої,
інокульовані *Phytophthora*
sojae у модифікованому
ростовому контейнері
(7-й день польоту)

Flight soybean seedlings
inoculated with *Phytophthora*
in a modified growth pouche
(flight day — 7)





Протонемата моху *Ceratodon purpureus* у наземному контролі (ліворуч) та космічному польоті (праворуч), експеримент SPAM-A
Ceratodon purpureus moss protonemata in the ground control (at left) and in space flight (at right), experiment SPAM-A



*Космонавт-дослідник Леонід Каденюк збирає пилок для експерименту B-STIC
Payload Specialist Kadeniuk collecting pollen for the B-STIC experiment*



*Космонавт-дослідник Леонід Каденюк починає запилення квіток *Brassica rapa* для експерименту B-STIC
Payload Specialist Kadenyuk beginning to pollinate *Brassica rapa* flowers for the B-STIC experiment*

*Космонавт-дослідник
Леонід Каденюк
запилює квітки
Brassica rapa
для експерименту
B-STIC*

*Payload Specialist
Kadenyuk pollinates
Brassica rapa flowers
for the B-STIC
experiment*







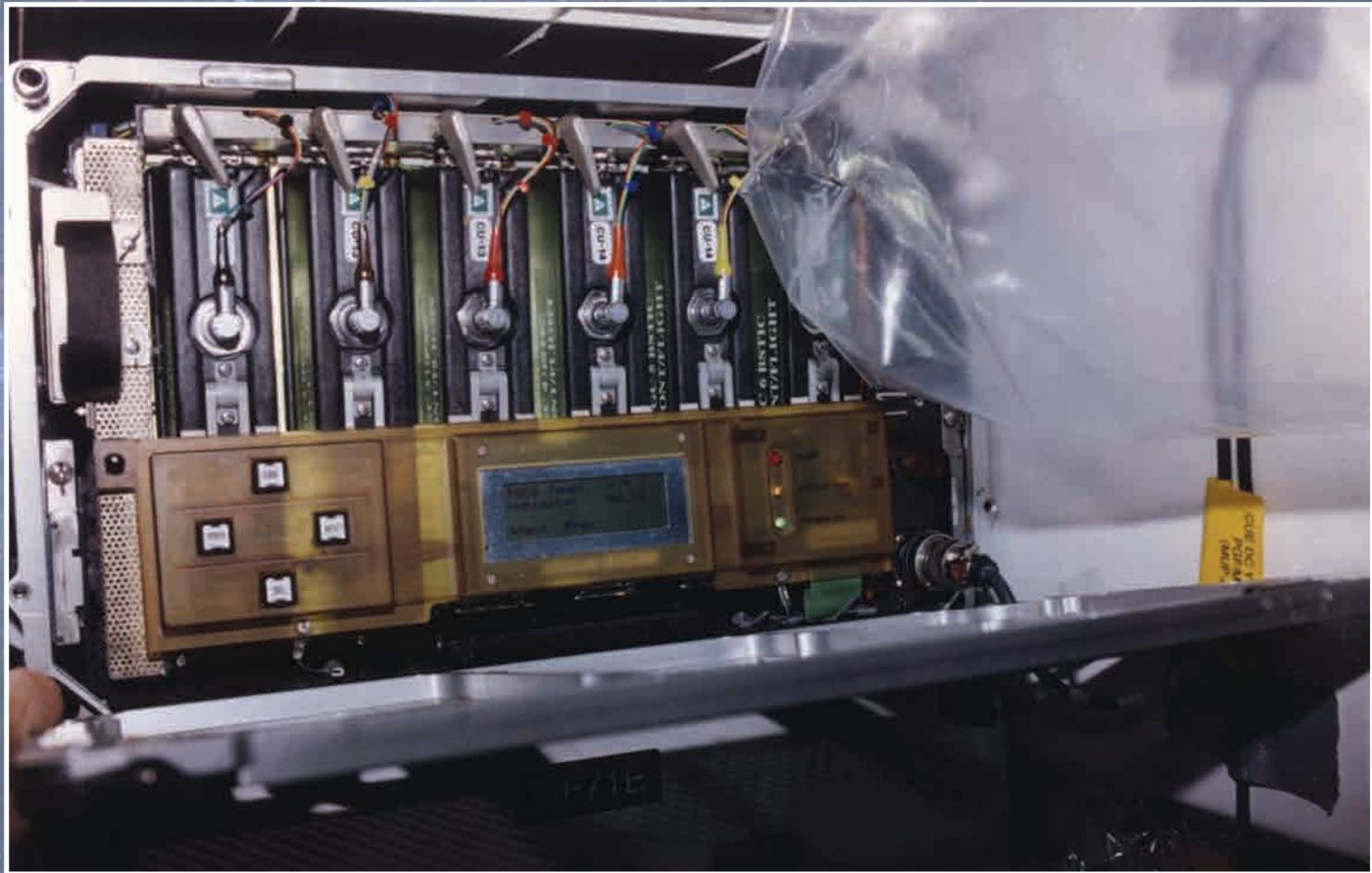




Космонавт-дослідник Леонід Каденюк маркує запилені квітки *Brassica rapa* для експерименту B-STIC
Payload Specialist Kadenyuk marking *Brassica rapa* pollinated flowers for the B-STIC experiment



Прилад для вирощування рослин з камерами для росту рослин на орбіті (вид спереду)
Plant Growth Facility with Plant Growth Containers (front/flight)



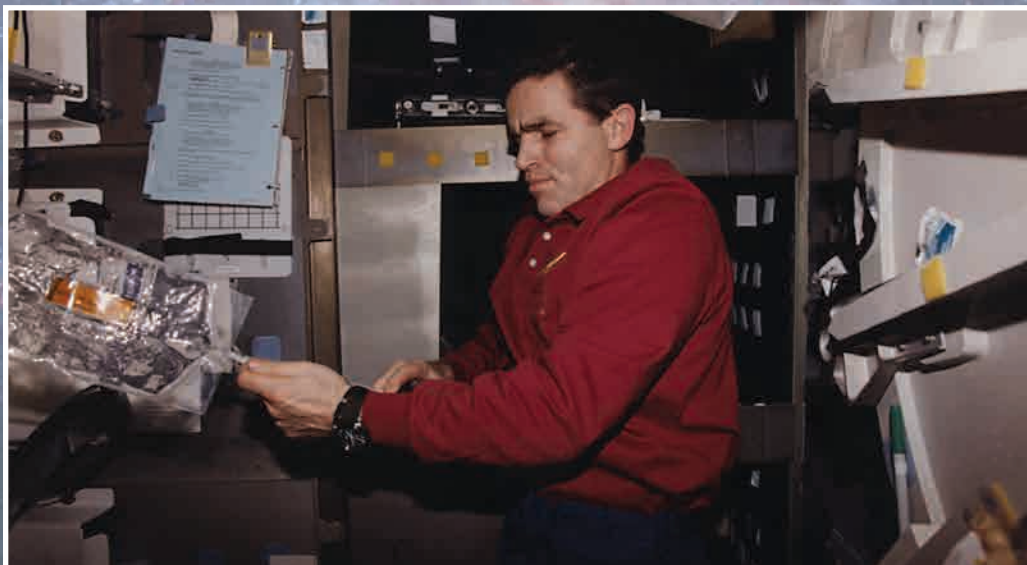
Прилад для вирощування рослин з камерами для росту рослин на орбіті (вид ззаду)
Plant Growth Facility with Plant Growth Containers (back/flight)



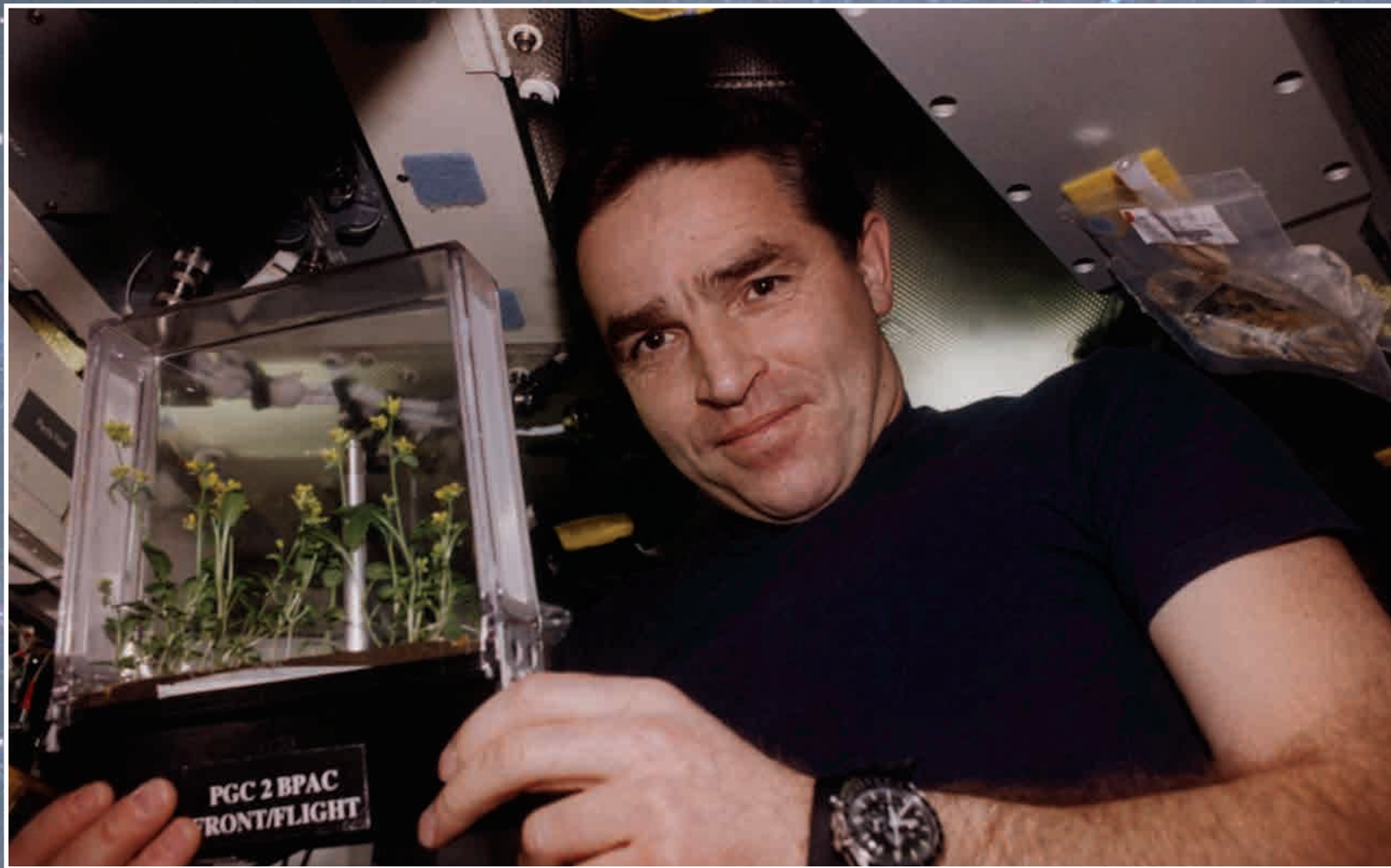
*Підготовка до фіксації рослин для експерименту B-PAC
Preparing to plant fixation for B-PAC experiment*



В процесі роботи
In working process









*Рослини Brassica rapa,
які виростили на орбіті,
експеримент В-РАС
(15-й день польоту)*

*В-РАС Brassica rapa
flight plants
(flight day — 15)*





Космонавт-дослідник Леонід Каденюк фіксує рослини *Brassica rapa* для експерименту B-PAC
Payload Specialist Kadenyuk fixing Brassica rapa plants for the B-PAC experiment





Фіксацію рослин Brassica rapa для експерименту B-PAC закінчено
Fixation of Brassica rapa plants for B-PAC experiment was ended



Капітан Кевін Крегель запилює квітки Brassica rapa для експерименту B-STIC
Captain Kevin R. Kregel pollinating Brassica rapa flowers for B-STIC



*Капітан Кевін Крегель фотографує контейнер з рослинами Brassica rapa
Captain Kevin R. Kregel photographing a container with Brassica rapa flowers*

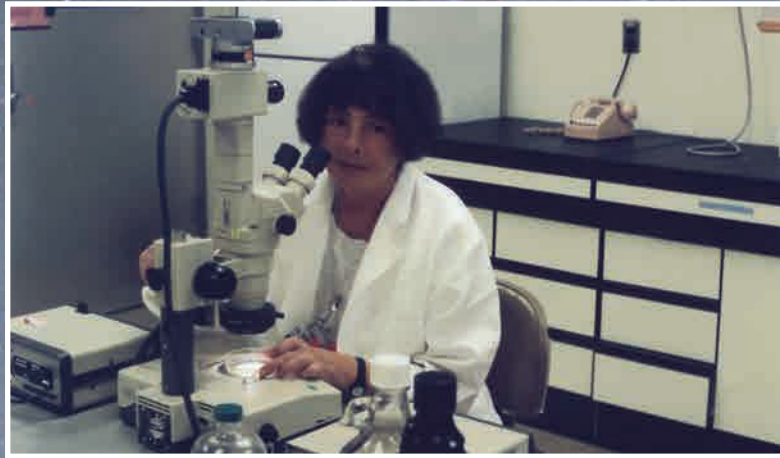


Вільний час. Футбол на орбіті
Free time. Football on orbit



Старт Колумбії 19 листопада 1997
Columbia launching, November 19, 1997

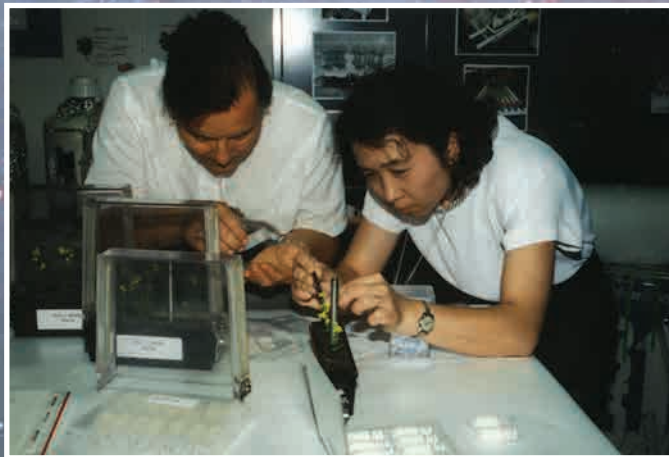
*В ЛАБОРАТОРІЯХ АНГАРА L У КОСМІЧНОМУ ЦЕНТРІ ІМ. КЕННЕДІ
IN THE LABORATORIES OF HANGAR L AT KENNEDY SPACE CENTER*



*Елизавета Кордюм
Elizabeth Kordyum*



*Емануель Хіларі, Віктор Пріма
та Дмитро Климчук
(експеримент SOYMET)
Emmanuel Hilaire, Victor Prima,
and Dmytro Klymchuk
(SOYMET Experiment)*



*Антоніна Попова
та Інг Ксяо
(експеримент B-STIC)
Antonina Popova
and Ying Xiao
(B-STIC Experiment)*



*Ролкер Керн,
Христина Чабан
та Орест Демків
(експеримент SPAM)
Walker Kern,
Christina Chaban
and Orest Demkiv
(SPAM Experiment)*



*Інг Ксяо, Аншу Кіанг
та Мері Масгрейв
(експеримент B-STIC)
Ying Xiao,
Anxiu Kuang,
and Mary Musgrave
(B-STIC Experiment)*



*Інг Ксяо, Антоніна Попова,
Мері Масгрейв, Аншу Кіанг
та Шарон Метьюс
(експеримент B-STIC)
Ying Xiao, Antonina Popova,
Mary Musgrave,
Anxiu Kuang,
and Sharon Matthews
(B-STIC Experiment)*

Емануель Хіларі
(експеримент B-PAC)
Крістофер Браун та Олена Недуха
(експеримент SOYMET)
Emmanuel Hilaire
(B-PAC Experiment),
Christopher Brown and Olena Nedukha
(SOYMET Experiment)



Єлизавета Кордюм (експеримент ROOTS)
та Христина Чабан (експеримент SPAM)
Elizabeth Kordyum (ROOTS Experiment)
and Christina Chaban (SPAM Experiment)

Віктор Пріма
(експеримент GENEX)
Victor Prima
(GENEX Experiment)





Учасники СУАЕ після приземлення Колумбії, 7 грудня 1997 року

CUE participants after Columbia landing, December 7, 1997



Освітня програма в Україні
Educational Program in Ukraine

СПІЛЬНИЙ УКРАЇНСЬКО - АМЕРИКАНСЬКИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ ВЧИТЕЛІ ТА УЧНІ ДОСЛІДЖУЮТЬ РОСЛИНИ В КОСМОСІ

| | | |
|--|---|--|
| НКАУ Національне космічне агентство України | НАНУ Національна академія наук України | МОУ Міністерство освіти України |
|--|---|--|

УДЕНЦ Український державний еколого-натуралістичний центр учнівської молоді

МАН Мала академія наук України

Вербицький
Володимир Валентинович
тел.(044) 430-02-60

Назаренко
Володимир Іванович
тел.(044) 224-50-10

Назаренко
Людмила Іванівна
тел.(044) 430-02-60

Малецька
Ольга Степанівна
тел.(044) 430-02-60

Григоровська
Майя Васильівна
тел.(044) 430-02-60

Ткачук
Людмила Іванівна
тел.(044) 290-51-17

Інформаційне робоче місце

252030, Київ, вул.Леонтовича, 9, Інститут біохімії ім.О.В.Палладіна НАНУ
тел.: (044) 224-50-10; факс:(044) 229-63-65; E-mail: dsi@biochem.kiev.ua

Вінницька обл.
Київник
Анатолій Миколайович
тел.(0432) 32-00-56

Волинська обл.
Миткалик
Тетяна Андріївна
тел.(03322) 4-91-20

Кужелюк
Ольга Миколаївна
тел.(03322) 4-91-02

Житомирська обл.
Адамович
Анатолій Олександров
тел.(0412) 24-16-47

Дніпропетровська обл.
Іванус
Алла Василівна
тел.(0562) 46-30-13

Лобань
Григорій Васильович
тел.(05616) 2-14-94

Попруга
Ольга Федорівна
тел.(0562) 12-81-43

Чорнобривець
Тетяна Степанівна
тел.(05662) 9-32-64

Донецька обл.
Кириленко
Світлана Костянтинівна
тел.(0622) 55-14-87

Закарпатська обл.
Маковська
Наталія Іванівна
тел.(03136) 2-20-09

Миколаївська обл.
Миколайчук
Віра Георгіївна
тел.(0512) 35-04-35

Одеська обл.
Батишева
Тетяна Василівна
тел.(0482) 63-82-91

Івано-Франківська обл.
Шинкарук
Галина Василівна
тел.(03422) 2-20-47
Держипільський
Любомір Михайлович
тел.(03478) 2-24-57

Мельниченко
Неоніла Романівна
тел.(03475) 2-54-67
Гафтович
Ганна Федорівна
тел.(03430) 2-22-67

Полтавська обл.
Іванько
Наталія Миколаївна
тел.(05358) 46-167
Калниовська
Ніна Павлівна
тел.(05355) 5-62-23

Херсонська обл.
Палічева
Галина Віталівна
тел.(0552) 26-42-77
Сидорович
Марина Михайлівна
тел.(0552) 24-23-34

Київська обл.
Семенова
Ніна Олександрівна
тел.(04498) 4-02-79

Івано-Франківська обл.
Бодай
Валентина Яремівна
тел.(03422) 4-80-83

Рівненська обл.
Ряк
Миколай Хомич
тел.(0362) 23-01-49

Тернопільська обл.
Савич (Стефаншич)
Лірбов Михайлівна
тел.(03522) 5-05-46

Кіровоградська обл.
Покотиленко
Ірина Валентинівна
тел.(0522) 24-05-97

Авт. Республіка Крим
Виборна
Тетяна Вікторівна
тел.(0652) 27-62-36

Харківська обл.
Пурдя
Людмила Андріївна
тел.(05749) 5-33-61

Хмельницька обл
Гурська
Зоя Іванівна
тел.(0382) 55-14-49

м. Київ
Лялько
Ірина Іванівна
тел.(044) 290-51-17

Усенко
Ніна Олександрівна
тел.(044) 446-14-77

Семчинська
Олена Іванівна
тел.(044) 263-86-05

Чорнобривкіна
Людмила Володимирів.
тел.(044) 212-08-26

Львівська обл.
Похилевич
Юрій Олегівич
тел.(0322) 76-46-07

Луганська обл.
Косогова
Тетяна Михайлівна
тел.(0642) 95-18-67

Черкаська обл.
Бережна
Таміла Іванівна
тел.(0472) 63-38-92

Чернівецька обл.
Рачинська
Людмила Семенівна
тел.(0372) 55-09-78

Чернігівська обл.
Крамаренко
Лілія Василівна
тел.(04622) 2-50-25

Запрошуємо вчителів та учнів України
до участі в експерименті.



Space Life Sciences Reaches Out

Collaborative Ukrainian Experiment



Principal Investigators (★) and Lead Teachers (✿)



Lori Gilliam
(Anchorage, AK)

Mike Williams
(Gervais, OR)

Ken Bone
(San Jose, CA)

Roni Ozuna and
Diane Watkins
(Los Angeles, CA)

Judy Williams
(Central City, NE)

Jim Gulkema
and Jan Leach
(Manhattan, KS)

Brad Williamson
(Olathe, KS)

Paul Tweed
(Augusta, WI)

Paul Williams
(Madison, WI)

Ron Knop
(Tinley Park, IL)

Spencer Reames
(Bellerfontaine, OH)

Fred Sack and
Volker Kern
(Columbus, OH)

Jim Lucy
(Wilton, CT)

Ken Mills
(Lawrenceville, NJ)

Chris Brown
(NC State)

Johnny Robinson
(Columbus, SC)

Jody Lucy
(Lilburn, GA)

Bill Plastuch
(KSC, FL)

Mark Crease
(Cocoa, FL)

Peggy Henson
(Dallas, TX)

Mary Musgrave
(Baton Rouge, LA)

18 lead teachers from Ukraine will each train a minimum of 25 teachers.

20 lead teachers in the U.S. will each train a minimum of 25 teachers.

500 trained U.S. teachers will involve a minimum of 75 students each.

65,000 TSIPS Teacher's Guides will be distributed at 76 NASA Resource Centers and 10 national education conferences.

450 trained Ukrainian teachers will involve a minimum of 60 students each.

Освітня програма в США

Educational Program in USA



Навчальні матеріали

Вчителі Учні 7-11 кл.

ВЧИТЕЛІ ТА УЧНІ ДОСЛІДЖУЮТЬ РОСЛИНИ В КОСМОСІ

Посібник вчителя



Ця книга підготовлена на замовлення НАСА та
НКАУ за підтримки багатьох людей

Автор:

Пол Вільямс

кафедра біології рослин Вісконсинського
університету, Медісон, Вісконсин

Редактори:

**Пол Вільямс, Крісті Роден,
Кой Вільямс, Деніел Лаффер**

Програма «Вісконсинські швидкозростаючі рослини»,
Вісконсинський університет, Медісон, Вісконсин

*Програма Вісконсинських
швидкозростаючих рослин відвідала*

Бонні Маклейн та Тому Скотту за внесок в
написання статті «Важливість рослин в космосі»
та **Грегу Фогту** за текст про мікрогравітацію

Особлива подяка

**Бонні Маклейн,
Памелі Маунтджой та Розалінді Граймс**
за поради та настанови

Програма Вісконсинських швидкозростаючих
рослин Вісконсинського університету,
Медісон, Вісконсин

Коледж Сільськогосподарських та Біологічних наук,
кафедра біології рослин

1630 Linden Drive
Madison, WI 53706
tel: 800-462-7417; 608-263-2634
email: fastplants@calhp.cals.wisc.edu
WWW: <http://fastplants.cals.wisc.edu>

*Український переклад посібника
здійснено під науковою редакцією
проф. А.КОРЮМ*

Лектори:

Е.Мартини, М.Воронько, В.Мартини

Редактор

Н.Адамчук

Міжнародний дизайн
Крісті Роден, Сергій Гегун

Українське видання
віддруковане
в СП «АДЕФ-Україна»

Київ, 1997

Титульна сторінка посібника для вчителів українською мовою
Title-page of the Teacher's Guide in Ukrainian language

Teachers and Students Investigating Plants in Space

A Teacher's Guide with Activities for Life Sciences

National Aeronautics and Space Administration

Office of Human Resources and Education
Education Division
Washington, DC



With the Wisconsin Fast Plants Program
University of Wisconsin - Madison

This publication is in the Public Domain and is not protected by copyright.
Permission is not required for duplication.

Acknowledgments

This publication was developed for the National Aeronautics and Space Administration and the National Space Agency of Ukraine with the input and support of many individuals.

Writer:

Paul H. Williams
Department of Plant Pathology
University of Wisconsin
Madison, WI

Editors:

Paul H. Williams
Christie M. Roden
Coe M. Williams
Daniel W. Lauffer
Wisconsin Fast Plants
University of Wisconsin
Madison, WI

Layout and Design:

Christie M. Roden

Activity Development:

Paul H. Williams
Michelle A. Graham
Daniel W. Lauffer
Carey K. Wendell

The Wisconsin Fast Plants Program would like to gratefully acknowledge Bonnie J. McClain and Tom K. Scott for their contribution of the text for "The Importance of Plants in Space," and Greg L. Vogt for his contribution of the text for "Microgravity."

Special thanks to Bonnie J. McClain, Pamela L. Mountjoy and Rosalind A. Grymes for their guidance and advice.

Wisconsin Fast Plants
University of Wisconsin-Madison
College of Agricultural and Life Sciences
Department of Plant Pathology
1630 Linden Drive
Madison, WI 53706
tel: 800-462-7417 or 608-263-2634
email: fastplants@calshp.cals.wisc.edu
WWW: <http://fastplants.cals.wisc.edu>

Титульна сторінка посібника для вчителів англійською мовою

Title-page of the Teacher's Guide in English language



*Зустріч Пола Вільямса
та Тома Дрешела
у Бориспільському
аеропорту, вересень,
1997*

*Meeting Paul Williams
and Tom Dreshel
in Boryspil aeroport,
September, 1997*



Українські учні в Космічному центрі ім. Кеннеді
Ukrainian students at Kennedy Space Center



Українські учні
в кабіні Шатла
Ukrainian students
at the Shuttle's cabin



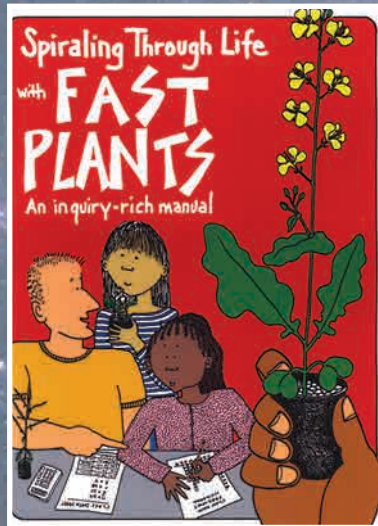
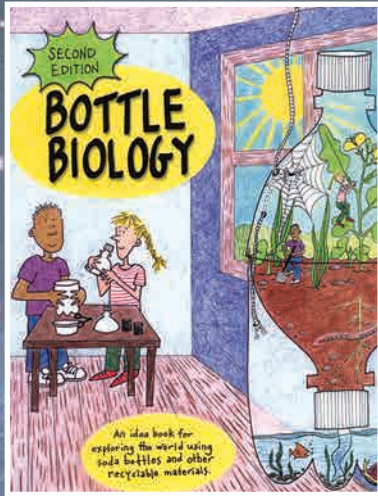
Майбутні космонавти
Future astronauts



*Українські учні в одному з ангарів Космічного центру
Ukrainian students at Kennedy Space Center in one of the hangars*



Українські учні в Космічному центрі ім. Кеннеді
Ukrainian students at Kennedy Space Center



Володимир Назаренко та Пол Вільямс у Вісконсінському університеті
Volodimir Nazarenko and Paul Williams at Wisconsin University

*Учасники семінару з
Освітньої програми
у Державному
еколого-натуралістичному
центрі в Києві,
квітень, 1998*

*Participants of the
Educational Program
workshop at the State
Ecological-Naturalist
Center in Kyiv,
April, 1998*





*Космонавт-дослідник
Леонід Каденюк
із учасниками семінару
з Освітньої програми
у Державному
еколого-натуралістичному
центрі в Києві,
квітень, 1998*

*Payload Specialist
Leonid Kadenyuk
with the Participants
of the Educational Program
workshop at the State
Ecological-Naturalist
Center in Kyiv,
April, 1998*

УЧАСНИКИ СУАЕ ЗІ США ПІД ЧАС ПЕРЕБУВАННЯ В КИЇВІ У ВЕРЕСНІ 1998 РОКУ
CUE PARTICIPANTS FROM USA STAYING IN KYIV IN SEPTEMBER 1998

Том Скотт
на прогулянковій
яхті на Дніпрі

Tom Scott
at the pleasure
yacht on the river Dniper

Том Скотт
і Єлизавета Кордюм
після зеленої прогулянки

Tom Scott
and Elizabeth Kordyum
after green walk



Джейн Ліч, Уільям Пьястуч, Джеймс Гайкема
та Пітер Четиркін на прогулянковій яхті на Дніпрі
Jane Leach, William Piastuch, and Peter Chetirkin
at the pleasure yacht on the river Dniper

Уільям Пьястуч під час
зеленої прогулянки
William Piastuch
on green walk



Дейв Чепмен
та Том Скотт у Пирогово
Dave Chapman
and Tom Scott in Pyrohovo



Джеймс Гайкема з дружиною у музеї
народної архітектури та побуту, Пирогово
Jim Guikema with his wife in the Folk Architecture
and Life Museum, Pyrohovo



Дейв Чепмен
(сидить)
у Пирогово
Dave Chapman
(sitting)
in Pyrohovo



Джеймс Гайкема біля
барельєфу академіка
М.Г. Холодного
James Guikema
near the bas-relief
of academician
M.G. Kholodny



Крістофер Браун
біля будинку
Інституту ботаніки
ім. М.Г. Холодного
Національної академії
наук України
Christopher Brown
at the M.G. Kholodny
Institute of Botany



Фред Сак та Волкер Керн на сходинах
Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного
Fred Sack and Wolker Kern on the steps
of the M.G. Kholodny Institute of Botany

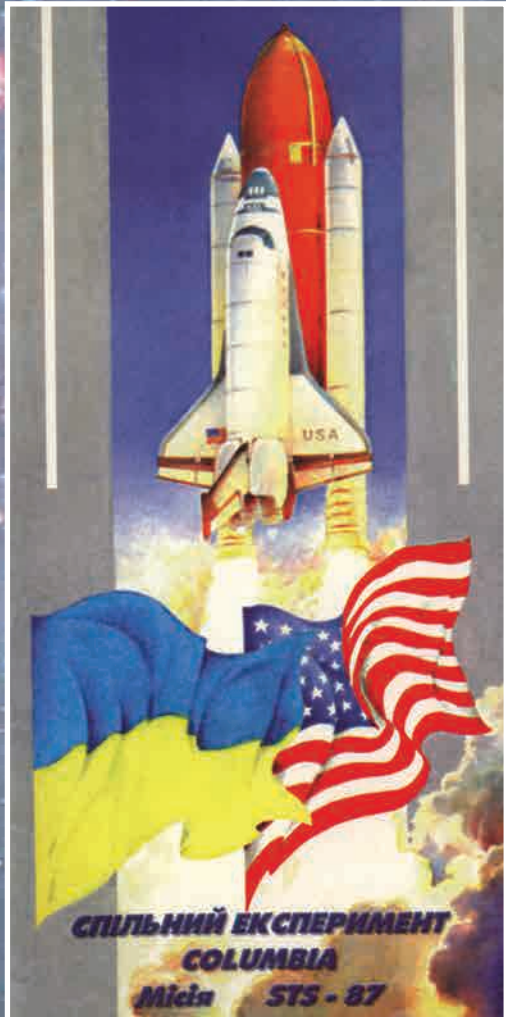


*Мері Масгрейв, Уільм Пьястуч, Дейв Чепмен та Джеймс Гайкема
на сходах Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного*
*Mery Musgrave, William Piastuch, Dave Champan, and James Guikema
on the steps of the M.G. Kholodny Institute of Botany*

*Єлизавета Кордюм
та Джеймс Гайкема*
*Elizabeth Kordyum
and James Guikema*

Поштові конверти,
присвячені СУАЕ,
із спеціально
погашеними марками

Post cards
with special stamps
on account of CUE



Адреса відправника

.....

.....

.....

1997 Спільний експеримент Columbia

листопад-грудень

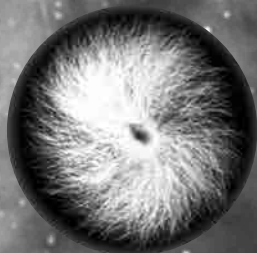
Адреса одержувача

.....

.....

.....

PREFACE



On November 19, 2007 it will be 10 years from launching of space shuttle Columbia, on board of which the Collaborative Ukrainian Experiment with participation of Leonid Kadenyuk — the first Payload Specialist of Independent Ukraine — was held. The main aim of this experiment was to investigate the influence of microgravity, that is a permanent factor of space flight, on growth and development of plants and to elucidate the regularities of gravisensitivity of autotrophic organisms. Before the space experiment, three-year preparation was held in laboratories of US Universities and in Kennedy Space Center (cape Canaveral, Florida), and in Institutes of the National Academy of Sciences of Ukraine.

A competition among candidates in Payload Specialist and their biological training in scientific laboratories of Ukraine and USA for skill to work with hardware for plant growth and manipulations with them were carried out. In addition, creation of new hardware as well as facilities for chemical fixation of samples was also realized. Participants of the Experiment systematically discussed theoretical and practical questions, that appeared in the course of its development, at workshops on cape Canaveral, in Kyiv and L'viv, and also by means of TV-bridges, in which all participants could take part. Two Verification Tests of experiment's preparation state for space flight and its simulation in Kennedy Space Center were held by NASA's initiative in September — October 1996 and in April — May 1997. Scientists

from Ukraine and USA have created an amicable team which worked in the same rhythm. A wide Educational Program for students was held in two countries. While being in Kennedy Space Center I well sensed unforgotten atmosphere — atmosphere of benevolence and high responsibility, confidence and excitement. That is why I congratulate scientific-reference edition, that documentary represents the chronicle of preparation events and conducting of the Collaborative Ukrainian Experiment, that is a good example of fruitful co-operation of Ukrainian and American scientists-biologists in aquisition of new knowledge. I wish them further creative success in development of space biology and also effective using the fundamental data in creation of controlled ecological life-support systems for cosmonauts that are importunately required for future pilot long-term space flights and exploring Mars an other planets.

NSAU General Director
Yu.S. ALEKSEEV



The first human flights into space showed that it was possible for people not only to exist in space flight but also to work there constructively and to solve successfully more and more complicated tasks for the benefit of humanity and world science.

One of the most important components of the general complex of space exploration is space biology, the emergence of which became possible due to scientific and technological progress and which is closely linked to human's entrance to space. The significance of space biology is difficult to overestimate, especially for realization of long-term pilot space flights and visiting Mars and other planets. From the beginning of the cosmic era, Ukrainian and American biologists took an active part in the development of the theoretical and instrumental base for performance of real space experiments.

I happened to take part in the mission STS — 87 on board the space Shuttle "Columbia" during November 19 — December 5, 1997, performing direct functions of Payload Specialist in the Collaborative Ukrainian Experiment. To discharge these functions was an exceptionally interesting work for me, the importance of which I understood well. Also, this was the first flight of a representative of Ukraine as the independent state. I felt great responsibility to Ukrainian and American scientists who took part in my preparation for the flight.

I also want to point out that I received the important and fundamental knowledge

on space biology in the Yuriy Gagarin Center of Cosmonauts Training in the former USSR, but I am very grateful to Ukrainian and American scientists who made great efforts for my personal preparation to the actual Collaborative Ukrainian Experiment. I feel special gratefulness and admiration for the leader of our group of scientists, Elizabeth Kordyum, with whose scientific activities I acquainted in the Star City. It was through the scientific works of Elizabeth Kordyum in the sphere of space biology that we, future cosmonauts, learnt the nuances of this science. This is why it was a great honor for me to be a student of Elizabeth Kordyum, who perseveringly and honestly shared her knowledge and experience with me.

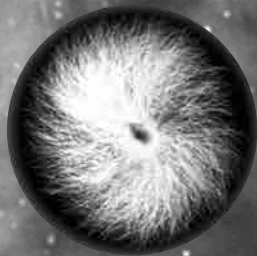
The realization of experiments in the state of weightlessness had its peculiarities, which, unfortunately, cannot always be predicted on Earth. Pollination of flowers, chemical fixation of plants and temperature regulation in the Plant Growth Facility, the work with freezing chamber, etc sometimes demanded additional and extraordinary decisions during the performance of the above mentioned procedures. I would like to especially note that friendly truck, which were settled between crew members, their readiness always to help one to another in the performance of the complicated tasks on orbit promotes to decide correspondingly and realize all program.

Scientists from US and Ukraine formed one friendly team, which worked exceptionally well that ensured successful preparation and realization of the Collaborative Ukrainian Experiment.

Payload-Specialist
L.K. KADENYUK



INTRODUCTION



In the 2007, on November 19, it will be 10 years since the launch of space shuttle Columbia STS-87. During that mission the Collaborative Ukrainian Experiment (CUE) was conducted by the Ukrainian Payload Specialist. The CUE preparation which took three years, and its successful realization was accomplished owing to energies of NASA, National Space Agency of Ukraine, and National Academy of Sciences of Ukraine, US Universities, and Kennedy Space Center. Time passes very quickly, somewhat is inevitably forgotten, pungency of feelings is lost, science is going forward with its new problems and approaches to their solution. But CUE remains as the major event in development of space biology in Ukraine in nineties of XX century and international space co-operation. Therefore, it would be important to recall the effort and the friendly climate of three-year preparation and installation of CUE. The presented scientific-reference edition is devoted to those events and grounded on the official documents, summaries of workshops, and publications in Science Milestones. Numerous photos presented in this book demonstrate the objects of the CUE experiment on orbit and in the ground control, and CUE participants in the Kennedy Space Center and in Kyiv, during work and on their time off. It would like to hope that this book will be interesting for many of general readers, including specialists in the various fields of biology.

Every event has own life: past, present and future.

First, we would like to stress that CUE includes investigations relating to space biology that is one of the most important in the systems of space sciences. Space biology studies the biological effects of spaceflight factors, primarily microgravity and cosmic galactic radiation, which are not present for living systems on Earth, and thus provides principally new scientific information. The ability to conduct experiments in microgravity has been made possible by advances in space flight technology, which has evolved over the past 50 years. It is necessary and extremely important for the elucidation of fundamental problems of current biology and is the basis for working out space cell biotechnology and controlled ecological life-support systems (CELSS), which significance rose sharply in connection with planned pilot space flights, visiting Moon and Mars. The creation of such systems and the biotechnology and prognosis of their functioning reliability are impossible without deep knowledge relative to the degree of action and direction of spaceflight factors on living systems.

The investigations in space biology laid the experimental foundation of gravitational biology (its occurrence is related to fifties of 20th century) which clarifies a role of gravity that is the cardinal constant acting geophysical factor, in the functioning of the Earth biosphere.



In the space era, biologists have a unique ability to explore the influence of microgravity and, therefore, the influence of gravity on the spatial orientation, physiology and biochemistry of organisms, morphogenesis, cellular reproduction and differentiation, i.e. processes lying in the basis of growth and development of living creatures. As long as the question about the degree of specialization to gravity seems to be most essential in the investigations of the biological effects of microgravity, the objects of space biology are organisms that differ by the degree of complexity of their organization, — bacteria, protozoa, fungi, lower and higher plants, insects, amphibians, fishes, and birds, mammals in vivo and in vitro. Except for the experiments in space flights, ground-based researches of model the influence of single space-flight factors on the biological systems are performed. There are four main directions in today space biology:

Gravitational biology. It elucidates a biological role of gravity by conducting research on the influence of altered gravity — real microgravity in space flight and the conditions, that partially reproduce biological effects of real microgravity in laboratories: clinorotation, hypokinesia, orthostatica, water immersion as well as hypergravity created by centrifugation, on various living creatures and in the culture of organs, tissues and cells.

Radiation biology. It studies the reactions of living creatures on an action of cosmic galactic radiation, especially the biological effects of heavy charged particles with energy of MeV and GeV and the products of nuclear decay in space flight, as well as ground-based experiments on nuclear accelerators, which work out the methods of dosimetry, determines a degree of an radiation risk for astronauts in pilot space flights, a diapason of damages of the cell genetic apparatus and the possibilities of its reparation, performs a search of effective protectors and safety device.

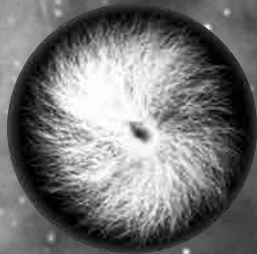
Planetary biology and pre-biotic synthesis. The possible chemical pathways of the origin of life are clarified and a search of extra-terrestrial living form on the other planets, including an intellect in universe and chemical precursors of life in Space, is carried out. An experimental check of the panspermia conception — life entry from Space on Earth is carried out also.

Natural and artificial ecosystems. The mechanisms of functioning and dynamics of natural ecosystems on Earth and artificial ecosystems, that are necessary for human life-support systems outside of Earth during space flights and visiting other celestial bodies, in particular Moon and Mars, are investigated. Theoretical aspects and methods of stabilization and control of the artificial ecosystems providing an intensive growth of plants, fungi and

animals, which must be included in astronauts' ration, processing obtained products for the utilization of wastes in closed systems are worked out, i. e. biotechnological principles used for the realization of biological turnover during space flights.

WE EXPRESS HEARTY THANKS TO PRESIDENT OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES BORIS PATON FOR PERMANENT SUPPORT OF RESEARCH IN SPACE LIFE SCIENCES IN UKRAINE. WE ARE ALSO GRATEFUL TO DEPUTY DIRECTOR GENERAL OF THE NATIONAL SPACE AGENCY OF UKRAINE EDWARD KUSNETSOV, EXECUTIVE DIRECTOR OF THE AMERICAN SOCIETY FOR GRAVITATIONAL AND SPACE BIOLOGY TOM SCOTT AND SCIENTIFIC SECRETARY OF SPACE RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE IRINA VAVILOVA FOR ACTIVE HELP IN PREPARATION OF THIS SCIENTIFIC-REFERENCE EDITION, AND ALL COLLEAGUES AND FRIENDS FOR THEIR INFORMATION AND BENEVOLENCE.

SPACE BIOLOGY IN UKRAINE



Space biology began to develop in Ukraine in the late 1960's. In the early seventies, the theoretical basis of future space biological experiments with organisms, which must be in the active physiological state during flight, was developed at the Institute of Microbiology and Virology of the National Academy of Sciences of Ukraine. An idea that just such an approach allows the answer to be the most pointed questions facing the researchers at that time, when it has been determined that space will be the sphere of human economical and scientific activity in the near future, has been put forward. It was necessary to ascertain how long-term periods of space flight will affect the vital activity of organisms, and whether adaptation will occur over the life of one organism or on the level of several generations. The following years showed that approach was entirely justified. Certainly, intensive work on improvement of methodical approaches and technical equipment for spaceflight experiments precedes the investigations of organisms growing and developing on orbit.

Special cultivators IFS (inoculative-fixative system), Rost, Svetoblok-1, Biocontainer, and other fixative facilities have been created and the corresponding system for analyses of experimental materials has been worked out. Parallel to conduction space experiments the Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine, worked on modelling ac-

tions of separate spaceflight factors namely: vibration and acceleration during launch regime (jointly the Institute of General Genetics of Russian Academy of Sciences), changes in intensity of electromagnetic fields (jointly the United Institute of Nuclear Investigations, Dubna, Moscow district and the Physical-Technical Institute of Low Temperature of the National Academy of Sciences of Ukraine), simulated microgravity (horizontal clinostats, that partially reproduce the biological effects of real microgravity in space flight. The influence of a heavy component of space galactic radiation was imitated by irradiation of biological objects with flows of separate heavy ions of certain energy on the nuclear accelerators (jointly the United Institute of Nuclear Investigations, Dubna, Moscow district and the Institute of Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine).

Since 1974, about 64 biological experiments, with bacteria and plants, which were in the physiologically active state during space flight, have been performed on board the biosatellites Cosmos-573, Cosmos-654, Cosmos-672, Cosmos-1887, Bion-9, Bion-10, and Bion-11 in cooperation with the Institute of Biomedical Problems, Moscow, the spaceships Soyuz-12, Soyuz-13, Soyuz-16, and Soyuz-22, orbital stations Salyut and Mir in cooperation with the Research-and-Production Association Energiya, Moscow, and the space shuttle Columbia in



co-operation with NASA on the international and national space biological programs.

Chronology of spaceflight experiments with bacteria and plants are:

1974—1978: The series of experiments with a bacterium *Proteus vulgaris*; a growth rate, motility, chemotaxis, cell structure, enzyme activity, and membrane permeability have been studied in the different growth conditions in space flight — aerobic, anaerobic (the experiment "Growth of Microorganisms" in joint Soyuz-Apollo flight), and facultatively anaerobic (the experiment "Cytos" in cooperation with CNES, France).

1975—1992: The series of experiments with unicellular green algae *Chlorella vulgaris*, autotrophic strain LARG-1, and *Ch. pyrenoidosa*, heterotrophic strain g-1-11; a growth rate, reproduction, cell structure and functional state, polysaccharide content, an activity of starch hydrolysis enzymes, calcium balance, and bacterial infection have been studied in the different growth conditions during space flight — in monoculture on the semi-liquid and solid media under illumination (the experiment "Chlorella" in cooperation with Chechoslovakia) and in darkness, as well as in a three-component water system (algae, fishes, and bacteria).

1980: 1). The experiment with the protonema of moss *Funaria hydrometrica*; the structural-functional organization of protonema cells has been studied. and 2). The experiment with a

symbiotic water fern *Azolla pinnata*; a cell structure of fern leaves, nitrogen-fixed cyanobacterium *Anabaena azollae* and associated bacteria, as well as interrelations between eukaryotic and prokaryotic organisms have been studied (the experiment "Azolla" in cooperation with Vietnam).

1978—1991: The series of experiments with angiosperms species: *Pisum sativum*, *Triticum durum*, *Arabidopsis thaliana*, *Impatiens balsamina*, *Cucumis sativus*, *Allium cepa*, *Muscari racemosum*, *Anethum graveolens*, and *Spirodela polyrrhiza*; a growth and development of seedlings, a structural-functional organization of cells of the vegetative organs, an anatomy and ultrastructure of a root cap, especially cap graviperceptive cells, calcium balance, physical-chemical properties of the cytoplasmic membrane, and lipid peroxidation intensity have been studied. In 1981: the first long-term experiment with *Arabidopsis thaliana*; in this experiment, *A. thaliana* plants delivered at the stage of two cotyledons on orbit were flowering for the first time in space flight; a structure of plant generative organs at the different stages of development has been studied.

1980—1983, 1989: the series of experiments with epiphytic and terrestrial orchids; growth parameters, leaf anatomy, phytohormone content, and enzyme activity have been studied.

1987—1993: The series of experiments with the *Haplopappus gracilis* and pea tissue cultures; growth and ultrastructural parameters and lipid peroxidation intensity have been studied.

1989: The experiment with *Daucus sativus* and *Brassica rapa* protoplast cultures; protoplasts' capability to regenerate a cell wall with the following formation of microcalli, the cell wall content, and structural-functional organization of microcallus cells have been studied (the experiment "Protoplast" in cooperation with ESA).

1989—1991: the experiments with the *Arabidopsis thaliana* tissue culture; a capability to morphogenesis in a callus culture in space flight and the graviperceptive apparatus formation of roots formed de novo in microgravity have been studied.

1991: The experiment with the *Solanum tuberosum* organ culture; a capability to form minitubers in microgravity and the ultrastructure of starch-storage parenchyma cells have been studied.

1996: The experiment with the protonema of mosses *Pottia intermedia* and *Ceratodon purpureus*; gravisensitive protonema morphogenesis and orientation in microgravity and the structural-functional organization of its apical cell, which is simultaneously the site of graviperception and gravitropic reaction, have been studied.

1997: Collaborative Ukrainian Experiment.

As a result of complex investigations of bacteria and diverse plant objects with utilization of cytological, biochemical, biophysical, molecular-biological and other methods, it was established that: 1) *the main, constantly acting factors in space flight are weightlessness (microgravity) and galactic cosmic radiation.* The influence of radiation in flight in near earth orbit, under the influence of Earth's magnetosphere, is less disastrous than in outer space where its negative affect on living systems sharply increased and sometimes results in the death of the organism; 2) *lower and higher plants grow and develop in microgravity;* 3) *morphogenesis, cell division and differentiation occur without essential deviations from the norm in microgravity;* 4) *microgravity essentially affects cell metabolism; modifications of metabolism are reflected in cell ultrastructure rearrangements, i.e. a cell is sensitive to gravity;* 5) *intracellular calcium balance changes in microgravity;* 6) *metabolism changes in microgravity lead to acceleration of cell differentiation and aging;* and 7) *microgravity allows to occur the adaptive reactions at the cellular and organism levels in the range of physiological response, i.e. in the framework of genetically determined program of ontogenesis.* The influence of microgravity and clinorotation on organisms is more pronounced with increased exposure and their manifestation is complicat-

ed in multicellular organisms in comparison with unicellular ones.

A discovery of gravisensitivity of plant cells not specialized to gravity perception and the establishment of certain general regularities of biological effects of microgravity might be the main achievements of space and gravitational biology in Ukraine. On the basis of the analysis of growth parameters in bacteria and unicellular green algae under different regimes of cultivation in space flight compared with ground-based controls, the following regularities were established: 1) *during certain time, growth, development and metabolism of unicellular organisms occur in the limits of an cell adaptation response* and 2) *growth of microorganisms accelerates in the optimal conditions of cultivation (aerobiosis, beef-extract bouillon) on orbit in comparison with ground-based controls, in modified conditions (facultative anaerobiosi or anaerobiosis, an addition of triptose or 2, 3, 5-triphenyl tetrazolium bromide in the medium), it delays more than in the controls.* The established regularities have also a concrete applied significance for working out the CELSS as microorganisms are one of the main chains of turnover in such the systems.

For the first time, Ukrainian scientists pioneered the use of the electron-microscopic method to analyze the ultrastructure of bacterium and plant cells in spaceflight experi-

ments. This method gives the possibility to determine a functional state of cell organelles and, thus, to judge by implication the level and trend of cell metabolism. Therefore, a cell fine structure and its changes in space flight turned out to be the reliable indicators for a value of the influence of spaceflight factors on cell function. In addition, the electron-microscopic method does not require major experimental material, which is often limited. A fundamental concept that proliferating and active metabolizing cells are the most gravisensitive was determined. It was apparent from the idea of the significant influence of microgravity on cell metabolism, independently on species and tissue type. *One of the most interesting and important effects of altered gravity at the cellular level is the change in the intracellular calcium balance revealed in the redistribution of free calcium ions in the cytosol, organelles and in a cell wall as well as in an increase or a rare decrease in the ion concentration in the cytosol.* These data open new perspectives in future research of calcium- and gravi-dependent processes in microgravity and, thus, the action of gravity on cell metabolism.

On the basis of an analysis of organelle structure and function in meristematic, elongating and differentiated cells in microgravity and under clinorotation, certain regularities in their rearrangements were established, name-



ly: 1) a heterogeneity of organelles in a cell population regarding a degree of rearrangements; 2) combining of a spatial consequence in biogenesis of organelles during cell growth and differentiation; 3) rising of organelles reactivity under changes in their functional load; 4) Increasing of organelles functional activity under loss by a cell its specific functions (substitution of functions). Established regularities have a general character. However, at the same time, they can give information on the relation of dis-, hyper- or hypo-function of separate cell types, tissues or organs as a whole.

It was shown that *the changes in cell metabolism in altered gravity lead to acceleration of the growth and differentiation of meristematic and elongating cells and the aging of differentiated cells, thus, shortening of the time of a meristem activity and in some cases — ontogenesis*. An idea on *cell mechanisms of adaptation to altered gravity, that is realized by the principle of self-regulating system, was determined*. However, *the maintenance of the most important parameters of cell homeostasis in the norm limits occur against a background of accelerated aging*. A strategic significance in the primary cell adaptation to the action of microgravity has been the maintenance of the cytoplasmic membrane lipid bilayer fluidity in the certain limits and activation of the antioxidant system. The long-term (secondary) adaptation is provided by the rearrangements of

cell metabolism underlying, in particular, the changes in the structural and functional organization of cell organelles and enzyme activity.

On the basis of this experimental data, *a hypothesis of gravitational decompensation (the absence of gravity influence) was put forward*. According to this hypothesis, *the cytoplasmic membrane is the primary site of microgravity action*. Under the conditions of the reduction or the absence of hydrostatic pressure, a change in the surface tension of the cytoplasmic membrane can play an inductive role in the rearrangements of membrane physical-chemical properties, which underlie the changes in its permeability, membrane receptors functioning, membrane-bound enzymes activity that, in one's turn, leads to metabolism rearrangements and, at last, to physiological responses.

Enough information was obtained on the structure and differentiation of root cap cells in microgravity. It has been shown that *the root graviperceptive apparatus is formed in microgravity but does not function in the absence of a gravitational vector, i.e. amyloplasts-stato-liths do not sediment in the distal part of statocytes*. *Impossibility of the accomplishment of a gravitropic reaction in microgravity was shown to be compensated with phototropism, i.e. directional light provides more or less normal orientation of plant organs under these conditions*, that is a basic concept for working out

the technologies of plant growing in space flight and opens new opportunities to study the mechanisms of single tropic reactions in the absence of gravity (Kordyum et al., 1994; Kordyum, 1997 a, b, 2001, 2002, 2004).

Since 1993 fundamental and applied investigations in space and gravitational biology in Ukraine have been part of the National Space Program of Ukraine, funded by the National Space Agency of Ukraine (NSAU) and performed in the Institutes of the National Academy of Sciences of Ukraine, the Academy of Medical Sciences of Ukraine, Universities and other Establishments. The main directions of these investigations were defined in which the achievements of Ukrainian scientists have been recognized by the world's scientific community and whose development has been provided with the scientific-technical potential of Ukraine. Today, priorities in this area in the Ukraine are aimed at 1) the elucidation of cellular and molecular mechanisms of the biological effects of microgravity and consequently mechanisms of cell gravisensitivity, and the creation of space cell biotechnologies for medicine, agriculture, and ecological monitoring using the unique microgravity environment, and 2) working out the concepts on growth, development, reproduction, and resistance of organisms in space flight as a background for development of biotechnologies for Controlled Ecological Life Support Systems (CELSS).

Fundamental directions include:

- ✦ Cell biology in microgravity.
- ✦ Investigations of the role of calcium ions and cytoskeleton in biological effects of microgravity.
- ✦ Developmental biology in microgravity.
- ✦ Life span and aging in altered gravity.
- ✦ Interaction between prokaryotic (pathogenic and symbiotic) and eukaryotic organisms in microgravity; the value of bacterial and virus pathogenity in these conditions.

Applied directions include:

Working out space cell biotechnologies and improving the methods of electrophoresis in microgravity for obtaining the preparations of biologically active substances and homogeneous cell populations for fundamental research, medicine and agriculture.

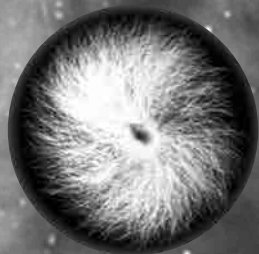
- ✦ Working out technologies for space planting and utilization of waste in CELSS in long-term space flights

- ✦ Using the express-methods of environmental monitoring in the cabin of space vehicles for ecological and radiobiological monitoring of biosphere.

Improvement of available space devices and creation of a new generation for performing space biological, biotechnological and biomedical experiments.



COLLABORATIVE UKRAINIAN EXPERIMENT (CUE)



CUE has its history in diplomatic relations between the United States and the member nations of the former Soviet Union. It has been the US policy to encourage the transition of these nations to a market economy and to encourage disarmament and the dismantling of nuclear missile fleets. Cooperation in space science was considered an excellent beginning to an international dialogue which would help accomplish these goals. Thus, initiation of discussions between NASA and NSAU came as a directive from the White House.

The following is a temporal outline of the events leading to the construction and realization of this joint proposal:

1994

✦ Signing of Trilateral Statement (US, Russia, and Ukraine), *January*.

✦ Discussions between US and Ukraine to collaborate in space research.

✦ NASA sends a delegation to Ukraine to explore options, *March*.

This delegation did not include space biology, although Dr. Kordyum represented space biology for Ukraine.

✦ Code UL assembles a discussing group of space biologists in Washington, DC, *September*.

The Ukrainian delegation was headed by academician Yuri Kundiev, and included aca-

demician Alexander Navakatikyan, Drs. Elizabeth Kordyum, Orest Demkiv, Natalya Djachenko, Olexander Kondrachyk and Vitaly Kordyum, Mr. Anatoly Shevko, Mr. Sergey Gulyar and Mr. Vitaly Gladilin. The US delegation was headed by Dr. Joan Vernikos, and included Drs. Lawrens Biever, Tom Scott, Mary Musgrave, and James Guikema. During this meeting, single-page collaborative proposals, covering the range of space life science from human physiology to computational biology, were developed and were submitted to NASA HQ.

✦ Joint State of Future Aerospace Cooperation between the United States and Ukraine directed NASA and NSAU to identify potential experiments and payloads which could qualify for flight and could create an opportunity for a Ukrainian Payload Specialist to fly on the Shuttle, *November 22*.

The directive from the White House was reviewed by the Life and Biomedical Sciences and Applications Division (LBSAD) staff as an opportunity to further plant space biology while, at the same time, cooperating with the diplomatic efforts of the Clinton administration. The LBSAD staff, coordinated by Drs. Tom Scott and Lawrens Biever, assembled a competitive plant space biology team. which prepared a preliminary proposal submitted to Code I. This initiative was successful against similar proposals from other NASA divisions involving material sciences, space exploration, etc.

1995

† NASA Director, Mr. Goldin, asks Code U to recommend a science discipline for a collaboration experiment. Dr. Scott recommends plant biology, based on the strength and expertise of plant space biology in National Academy of Sciences of Ukraine (NASU) and on the cooperative proposals prepared earlier, *January*.

† Request from NASA Code I to Code UL to define possible collaborative plant biology payload. Code I expects that "plant biology experiments have the greatest potential for a Ukrainian payload that will qualify for a flight on the shuttle and also require a Ukrainian Payload Specialist to conduct the experiment", *February*.

† Plant experiments proposal prepared, in discussions between the US and Ukrainian: Dr. Biever sent the Improved Draft Proposals for Ukrainian Payload/Experiment and the attendant letter (*letter attached*) to Dr. Kordyum, as NSAU Coordinator for Space Biology, *March 8*. Dr. Kordyum approved the Proposal, *March 27*. (*letter attached*).

† Proposal sent to NASA Code I, *March*.

† Two page plan sent to White House, *March*.

† Second delegation sent to Ukraine (This delegation included biologists), *April*.

† White House approval of plant experiments plan, *April*.

† Joint NASA — NSAU Directorates, discussion on Ukrainian Payload, *April*.

† President Clinton, while visiting Ukraine, announced Ukrainian cosmonaut to fly on STS-87, *May*.

† Authorization of Code UL to proceed with payload development, *October*.

† Kickoff meeting at Kennedy Space Center (KSC) is the first joint meeting of US and Ukrainian investigators, *November*.

AND SO, THE WORK GOT ROLLING

The prior experience in preparation and performance of space biological experiments and the availability of the Program on Space Biology in Ukraine allowed Elizabeth Kordyum to prepare and send to NSAU in January 1995 a list of 15 experiments and their short 1—2 page description, which included the experiment's title, names of principal investigators, the aim, subjects, objects and methods of research, expected results, space equipment to hold the experiment and tasks for the cosmonaut. In February, Dr. Kordyum got a reply to NSAU from the US side which stated that after the examination, the proposed experiments were divided in three groups: 1) the most interesting, 2) less interesting, and 3) not interesting for NASA at that time. The first group, count-

ing 9 experiments, were chosen by NASA to be joined with propositions from US side for joint execution.

For the NASA request, it was necessary to prepare detailed descriptions of every experiment of the first group on 15—20 pages and Curriculum Vitae of all principal investigators. It was the most intensive week in February. A responsible person from NASA Dr. Lawrens Biever, with whom Dr. Kordyum often talked on the telephone during February — March, 1995, called her several times per day, beginning from 9 h AM on Kiev time, during this week. Dr. Kordyum appreciated his assistance in the preparation of expanded proposals to meet the U.S requirements have taken plenty of time, but because of his insistence the Ukrainian side prepared them in this week, and the proposals, over 200 pages, were sent to NASA by fax in the proper time. On March 12, 1995, Dr. Kordyum received Improved Draft Proposals for the Ukrainian Payload/Experiments from Dr. Biever and the attendant letter (*letter attached*).

March 8, 1995

To: Elizabeth Kordyum / Ukrainian Academy of Sciences and Coordinator for Space Biology for NSAU

From: Larry Biever / Coordinator for Cooperation in Life and Biomedical Sciences and Applications with the Ukraine

March 27, 1995

Subject: Improved draft proposals for Ukrainian Payload/Experiment on the NASA Shuttle

The attached draft incorporates your inputs from March 2, 1995 plus major rewrites by the U.S. partners you suggested. I reviewed this proposal with Dr. Scott, who manages the NASA space biology program (including plant biology) and Dr. Averner, who manages the NASA program that is developing the use of plants for spaceflight life support. They are impressed with the quality of the science we are proposing. I have also discussed the proposals with Dr. Vernikos, Director, and Dr Frank Sulzman, Director of the Research Branch of the Life and Biomedical Sciences and Applications Division, NASA Headquarters, they are pleased with our efforts.

Please review the proposals and send me corrections by March 13, if you can. I hope you are pleased with the evolution of our cooperative options.

On March 7, 1995, Dr. Vernikos formally proposed to NASA International Affairs that one or two of our options be the Ukrainian experiment/payload for the mission with a Ukrainian Payload Specialist — if there is agreement between NASU and NASA to fly the mission. She submitted the same proposal I am FAXing to you today. I expect that NASA will officially notify Dr. Zhalko-Titarenko, Acting Director General, National Space Agency of Ukraine, in writing, of NASA's proposed Ukrainian experi-

ment/payload for Ukrainian consideration/ agreement yet this week. I expect that our proposal will be the one proposed to Dr. Zhalko-Titarenko.

If Dr. Zhalko-Titarenko is favorable toward our proposal, we will have to choose between the options by March 17, 1995 in order for NASA and the National Space Agency of Ukraine to mutually report to the White House on their jointly-recommended Ukrainian payload/ experiment by March 31, 1995. Thus it is critical that I receive your comments, so that we can reach agreement between the Ukrainian investigators and their US partners on the contents of the individual options very early next week.

Please confirm that you received these materials and are willing to proceed with definition of the experiment by return Fax.

Please FAX me at (202) 479-2613 or call me at work (202) 479-2609 or at home (703) 759-5948 if you need my assistance.

Lawrence BIEVER

Enclosure



As Dr. Kordyum was at Kansas State University she considered her opinion, after review of the proposals with Dr. Guikema, and sent the letter on this subject to Dr. Biever March 27 (letter attached).

Dear Larry:

I am very sorry that I did not meet with you in Kansas. I wish you to be healthy as soon as possible.

I have reviewed the proposal attentively and I am sure that it is good. I formally approve the modifications and changes made since my last letter. In my mind, only a few issues remain.

I am sure that the plant growth experiment needs to fly pea (the main tasks of this experiment are based on this object; because they need in seedlings growing from the seeds which germinate on the orbit), in addition to and as a comparison with Brassica (for the experiment of pollination and fertilization the adult plants are needed, plants with buds, so for this experiment plants with buds must be sent to the orbit). Brassica plants form many buds and, naturally, flowers; thus for this experiment I think a few chambers will be enough because we will have many flowers for pollination.

I have made all corrections with names of Ukrainian scientists, and I shall make it with curriculum vitae of Ukrainian scientists if it will be needed when I received them from you.

I excluded "Tuber formation" from the 5th container. But Jim told me of the interest of Dr. Tibbets for this experiment. Actually this experiment is simple, but very informative. So, I think that the final decision must be done by

you and Jim, because I do not know your situation with Dr. Tibbets.

I understand that two experiments (PGF and BRIC) are to be flown. I would like only to note once more that all secondary experiments to a primary experiment on photosynthetic apparatus are based on the same experimental plants, because all parts of plants will be used for the study with different methods as we have to obtain the most information on the microgravity influence on plant growth and development on the different levels of their organization in this experiment which is unique on its talks and possibilities to its realization.

We considered with Jim our tasks in proposed experiments, and I think that this discussion was very useful. I understand that the second plant growth facility experiment will not be included in this proposal. Jim and I, along with Dr. Leach, will be preparing a proposal for the next Division deadline, and are hopeful that it will be also funded.

I wait for new information from you on our common success.

With best regards.

Sincerely,

Elizabeth KORDYUM



KICKOFF MEETING

On November 14—17, 1995 a week-long series of meetings were held at the Kennedy Space Center. Information on these meetings and the results were published in the 1st number of Science Milestones January 1996. CUE Science Milestones was a monthly newsletter, designed to provide science-experiment preparations, status and information exchange to Principal Investigators (PIs) and other members of the CUE team and served as a status report to the NASA CUE Payload Mission Manager, CUE NASA Project Scientist and CUE NASA Level II Management. It continued to be printed until 1998, covering successive events in preparation, performance and post-flight period of CUE (Editors: Ms. Corinne Johnson, Project Science Coordinator (NN 1—7), Mr. Dave Chapman, Project Science Coordinator (NN 8—13))

These meetings included science presentations by the Principal Investigators, management presentations by the KSC Payload Development, Payload Science Coordinator, and Payload Mission Management. NASA Payload Mission Manager, Ms. Cindy Martin and CUE Payload Mission Manager, Mr. Mike Haddad joined Mr. Bobby Bruckner, Director Payload Ground Operations, in welcoming the Principal Investigators to Kennedy Space Center for the CUE Kickoff Meeting. Dr. Bill Knott, Chief

Scientist KSC Biological Programs, and Dr. Ray Wheeler, Project Scientist, KSC Biological Programs and Mr. Dennis Chamberland, KSC Life Sciences Education and Outreach Programs, also supported the meetings. CUE Project Engineer, Ms. Rina Thompson, of the Bionetics Corporation, organized the meeting and managed the overall project development. CUE Payload Science Coordinator, Ms. Corinne Johnson, of Dynamac Corporation, presented the CUE payload science coordination plan. Mr. Tom Dreschel, of Dynamac Corporation, who would be coordinating the educational project, presented the educational project plan. Ms. Kelly Norwood and Ms. Debbie Vordermark of The Bionetics Corporation discussed and demonstrated the CUE flight hardware and Mr. Bill McLamb, of the Bionetics Corporation, gave an orientation of the pre-flight laboratory facilities at Kennedy Space Center's Hangar L. Providing Science and Engineering support, from Kennedy Space Center, were Dr. William Piastuch, Mr. Dave Chapman, Mr. Ken Anderson and Mr. Frank Chariot. Supporting the CUE project at Level II Management, Mr. Phil Davies of Ames Research Center attended the meetings and drafted the "Summary of Discussions" which was signed by Dr. Elizabeth Kordyum and Ms. Cindy Martin at the close of the meetings. Also attending, from NASA Headquarters were Ms Shari Kamm, International Affairs and Ms. Linda Billings, HQ Interface for the CUE Educational Project.

The Ukrainian delegation of Principal Investigators attending the Kickoff meetings were Dr. Elizabeth Kordyum and Dr. Olena Nedukha, Institute of Botany, NASU; Dr. Svetlana Kochiibey, Institute of Plant Physiology and Genetics, NASU; Dr. Victor Prima, Institute of Molecular Biology and Genetics, NASU; and Dr. Orest Demkiv, Institute of Ecology of the Carpathians, NASU. The United States delegation of Principal Investigators attending the Kickoff meetings were Dr. Mary Musgrave, Department of Plant Pathology and Crop Physiology, University of Louisiana; Dr. Paul Williams, Department of Plant Pathology, University of Wisconsin and Mrs. Coe Williams of the Wisconsin Fast Plants Program; Dr. James Guikema, Division of Biology, Kansas State University; Dr. Jan Leach, Department of Plant Pathology, Kansas State University; Dr. Fred Sack and Dr. Volker Kern, Department of Plant Biology, Ohio State University; and Dr. Christopher Brown, Plant Space Biology, Kennedy Space Center. In addition to the presentations, meetings were held between PIs and KSC teams to begin the Experiment Definition Phase of the CUE project. estimated to launch in October 1997 on STS-87. Information was gathered from the PIs through rotation around a series of tables to discuss different detailed aspects of their flight experiments. The sides discussed and reviewed experiments based on the March 1995 proposed Ukraine/US Shuttle Experiment document and began the process

of identifying areas of mutual collaboration. It was agreed that the four primary and eight secondary experiments were to be carried forward for further definition. Mr. Peter Chetirkin, of the Dynamac Corporation, and Mr. Mike Yelovich, from Dynamac Corporate Headquarters, assisted by translating all presentations, question and answer sessions, and documentation to make the kickoff meeting an extremely fruitful exchange of information.

The CUE Project was identified to use the Plant Growth Facility and the Biological Research in Canisters as the major pieces of flight hardware. The PGF and BRIC hardware, as well as other support hardware were described to the Ukrainian side. Handouts describing hardware, operations, facilities and the education program were presented by the US for the Ukrainian side for review.

The sides agreed that in order to maximize the scientific value of the CUE, a single specimen *Brassica rapa* would be used in the PGF experiments. It was also agreed that some of the specimens would be flown in an advanced stage of development and some would be flown in the seed germination stage. This scenario would satisfy the science requirements of the majority of both sides. It was agreed by both sides to use the moss species *Ponia intermedia* and *Ceratodon purpureus* and soybean seedlings in the BRIC experiments.

CUE PIs collaborated in the selection of acronyms (six-letter max) for their experiments at

the CUE Kickoff meeting. Acronyms were reviewed by the NASA KSC legal department and approved. The acronyms selected were as follows:

A) Plant Growth Facility (PGF) Experiments:

1) B-STIC (*Brassica* — Stic) — Microgravity effects on pollination and fertilization.

2) B-PAC (*Brassica* — Photosynthetic Apparatus in Chambers) — Effects of altered gravity on photosynthesis.

3) ROOTS Microgravity effects on structure, function and organization of root cells in *Brassica rapa*.

4) GENEX Spaceflight effects on gene expression in *Brassica rapa* tissue.

5) AMINO Spaceflight effects on amino acid content in *Brassica rapa* tissue.

6) PHYTO Spaceflight effects on the phytohormonal content in *Brassica rapa* tissue.

7) TSIPS (Teachers and Students Investigate Plants in Space) — Educational Program.

8) RATIO The effects of microgravity on the root/shoot ratios in developing seeds of *Brassica rapa* and soybean.

B) Biological Research in Canisters (BRIC) Experiments:

9) SPAM. (SPACE Moss) — Effects of microgravity on differentiation and phototropism in moss protonemata.

10) SOYPAT (SOYbean PATHology) Effects of microgravity on pathogenesis and defense responses of soybean tissues.

11) SOYMET (SOYbean METabolism) The interaction of microgravity and ethylene on soybean growth and metabolism.

The Ukrainian side noted that a number of ground studies would have to be performed prior to the finalization of their science plan. These studies were to be completed and the final science plan developed by March, 1996. Additional ground studies were to be performed in parallel utilizing a clinostat to determine if further analysis could be performed on tissue received from flight experiments. The sides discussed the utilization of the PGF *Brassica rapa* experiment, in which flowering, pollen formation, pollination and embryogenesis would be examined in the Educational Program. A series of directly related classroom activities that could be performed as ground controls was presented and discussed. A planning meeting and workshop was set for January 11—13, 1996. Ideas were gathered from each CUE Principal Investigator for possible educational activities relating to the various experiments. It was currently planned that the main focus of the education activities will be on the PGF *Brassica rapa* experiment. Procedures for performing the *Brassica rapa* experiments were well developed and could be readily adapted to the CUE activities. There was a strong desire that video teleconferences between the NASA centers and schools in the Ukraine be facilitated as well as communications between students performing ground control experiments

and the CUE payload specialist during the mission. Communication between the participating schools and the scientists was also essential for a successful effort. It was agreed that, in addition to the meeting in January 1996, workshops would be held to train the participating teachers during the summer of 1997. Data submission from student experiments would be facilitated by the internet or through mail-in forms or post-cards.

The Implementing Agreement (IA) between NASA and NSAU was informed to be in process and would be finalized shortly. The IA is the binding document for the CUE project and all agreements made between the two sides must comply with the contents of the IA.

1996

- ✦ US delegation to Ukraine to discuss experiment requirements in detail, *March*.
- ✦ Letter of agreement sent to Ukraine, *April*.
- ✦ Preparation of the unified proposal, *May*.
- ✦ Presentation of the unified proposal to peer review panel, Washington, DC, *May 22*.
- ✦ Verification Scientific Test, *October*.

Beginning from December, 1995 and during 1996, members of the KSC team, providing science and engineering support to the CUE project, became acquainted with the directions of research, scientific potential and technical

facilities in subdivisions of US universities and the institutes of the NASU and the participating staff. CUE payload science coordinator Ms. Corinne Johnson visited the laboratory of Dr. Fred Sack and the post-doc, Dr. Volker Kern, at the Ohio State University. Dr. William Piastuch, CUE science support, and Rina Thompson, CUE Project Engineer, visited the laboratory of Dr. Mary Musgrave, at the Louisiana State University to become familiar with the university and laboratory facilities.

During March 6—14, the USA Delegation visited Kiev and L'viv. This trip was organized by CUE Project Engineer Ms. Rina Thompson. The purpose of the trip was to review the Ground Support Requirements Document, Experiment Requirements Document, discuss experiment details for both BRIC and PGF studies, visit the laboratory facilities of the Institutes participating in CUE, and meet with representatives at the NSAU. Mr. Mike Haddad, CUE Mission Manager, led the delegation. Ms. Rina Thompson was assisted by the Project Science Coordinator, Ms. Corinne Johnson, and Project Engineer, Ms. Kelly Norwood. Also participating in the meetings in Ukraine were CUE Level II Management, Mr. Phil Davies of the Ames Research Center and Dr. Tom Scott, Manager, Space Biology at NASA. CUE SPAM Experiment Co-Investigator, Dr. Volker Kem, also joined the delegation to meet with the Ukrainian CUE SPAM investigators in L'viv. Mr. Peter Chetirkin provided assistance by translating all

presentations, discussions and documentation for the meetings.

Members of USA Delegation became acquainted with scientific directions and technical facilities in the Institute of Molecular Biology and Genetics, Institute of Plant Physiology and Genetics, Institute of Botany, Institute of Microbiology and Virology, the National Botanical Garden, Institute of Ecology of the Carpathians of the NASU, the Palace of Youth, and a second education center, the State Ecological — Naturalistic Center (Science Milestones, N 2 (February) and N 3 (March)).

The NASA delegation was received by NSAU General Director Alexander Negoda. Discussions of urgent questions connected with the CUE organization and scientific tasks took place successfully. After presentations of the CUE Program by US and Ukrainian sides, a verbal understanding regarding CUE success criteria, an examination of technical facilities, the scientific potential of Ukrainian specialists in the Institutes was achieved. Summary of discussion, signed by Mike Haddad, CUE Mission Manager (NASA), Konstantin Yartsev, Head of the Department of International Relations (NSAU) and Elizabeth Kordyum, CUE Science Manager (NASU), was proclaimed at the meeting with representative of NSAU, NASU, and candidates in astronauts, Leonid Kadenyuk and Viachislav Maitarchan, headed by Deputy Director General of NSAU Edward Kusnetsov.

The Ukrainian side stated that the visit was very timely and very useful. This visit allowed clarification of many problems regarding the joint preparations of the Collaborative Ukrainian Experiment from the US side whose participation would include 4 universities and Kennedy Space Center. From the Ukrainian side, participation included 4 Institutes and the Central (now National) Botanical Garden. The flight experiment was scheduled for October 1997, with duration of 16 days and nights. The US side gave to the Ukrainian side information about the schedule of tasks to be completed. This schedule of CUE Mission preparations was agreed to by both sides.

The US side recommended that two teleconferences be held the following week (week of March 18) in order to finalize experiment protocol. One telecon to be held with Dr. James Guikema, to finalize seed-planting protocol and one telecon will be held with Dr. Mary Musgrave to finalize the photoperiod protocol. Both sides discussed distribution of plant material during the ground study phase. It was agreed that all Brassica plant material would be grown at one central location for the Ukrainian ground studies. Dr. Elizabeth Kordyum was to distribute this plant material to the Ukrainian PIs.

Both sides discussed the Educational Project, in which school children were to take part. From the American side, Dr. Paul Williams was responsible for the Educational Program.

From the Ukrainian side, Dr. Volodimir Nazarenko was responsible for the Educational Program.

Science training requirements specific to the CUE payload for the astronaut were discussed. The science training schedule was explained to Payload Specialist training was to begin 17 months prior to launch and shuttle training in Houston to begin 10 months prior to launch. The US side was asked if both Primary and Back-up Payload Specialists are trained equally. The US side answered that standard practice allowed both to be trained equally on all aspects of science and Space Shuttle operations. As a result of these discussions, the Ukraine side prepared a list of specialists to attend the activities at KSC in accordance with the agreement between NASA and NSAU.

CUE team gave special thanks to Ms. Rina Thompson for all she did to pull this trip together and to keep CUE moving forward. Members of USA delegation extended the fondest thanks and gratitude to each and every one of the Ukrainian hosts for their very generous hospitality. They thanked them also for the very informative and fruitful discussions and excellent presentations on related research on the site visits and looked forward to a successful mission together!

In the Joint NASA — NSAU report, signed by NASA Director Daniel Goldin and NSAU General Director Olexander Negoda April 4, 1996, the information on Ukrainian Experiment/

Payload and the Ukrainian cosmonaut was presented. NASA and NSAU agreed on a payload consisting of two space shuttle flight research facilities (Plant Growth Facility and Biological Research in Canisters) for four primary experiments. Plant tissue not needed by the primary experiments will be shared by eight secondary experiments to maximize the science return from this mission. The experiments were collaboratively developed by six US scientists at five universities and one company, and fourteen Ukrainian scientists at six institutes of the National Academy of Sciences of Ukraine and one university. In addition, the mission included an education component where students in the US and the Ukraine would duplicate on orbit experiments and interact with the Ukrainian payload specialist to compare investigations. These activities increased the dialog between the scientists of the two nations, and resulted in joint proposals for other cooperative research.

It was emphasized that the microgravity conditions of space flight offer a unique experimental platform to address important, fundamental and applied questions in biology and agriculture. The successful completion of this experiment would refine and demonstrate to the world scientific community the ability to do interactive biological experimentation on the Shuttle. With a trained Ukrainian payload specialist, the investigators would be able to precisely direct the experiments from the ground.

These methods and processes are a model for conduct of more complex experiments on the Space Station.

"WORKING DAYS" BEGAN

According to requirements of the scientific preparation of future astronaut — specialist in Ukraine and by their own request, Leonid Kadenyuk and Viachislav Maitarchan would to listen a course of lectures on questions, directly connected with CUE main goal — to study the influence of microgravity on growth and development of higher plants. Therefore, general questions of plant morphology, anatomy, physiology, biochemistry and molecular biology as well as current ideas on plant gravisensitivity, results of space and synchronous ground-based experiments with lower and higher plants, actual questions of future research in space and gravitational biology were included in lecture subjects. In compliance with the subjects the study engaged different institutes of the NASU, which were defined as CUE participants. It is nice to note an interest and inquisitiveness of the candidates to astronauts, who sincerely were told that they would not to be mechanical executors of CUE tasks but would perform the experiment's protocol with good understanding of crux of the investigations. It needs to be noted that Leonid Kadenyuk has already

studied the biological preparation in Star city near Moscow. The studies were continued until June, when the planed departure of two Ukrainian astronaut candidates to the Johnson Space Center (Houston, Texas) for final check-up. For two weeks in June, they were at KSC, where resident scientists from Dynamac Corporation provided them a series of Basic Plant Science training sessions (Science Milestones N 5, June/July 1996). Later, in September 1996, another two astronaut candidates, Dr. Yaroslav Pustovyi — senior scientist of the Institute of Space Research of NASU, and Dr. Nadiya Adamchuk — scientist of the Institute of Botany of NASU, arrived in Houston.

In November, NASA and NSAU reached the final decision to confirm Colonel Leonid Kadenyuk appointment as astronaut and Dr. Yaroslav Pustovyi as his double. A ten-month preparation for the flight waited for them in the USA, including visiting universities and the KSC, getting acquainted with the flight gear, gaining experience working with gear and methods of observation and manipulation with objects, in particular, successful pollination of *Brassica rapa* flowers, methods of material fixating and, of course, improving their English.

Ukrainian specialists, who were to take part in CUE in Ukraine and USA, were specified. They were: Dr. Olena Nedukha, Dr. Antonina Popova, Dr. Ludmila Musatenko, Dr. Dmytro Klymchuk, Dr. Olena Zolotareva, Dr. Victor Negretsky, (Institute of Botany, NASU), Dr.



Svetlana Kochubey, Dr. Olga Volovik (Institute of Plant Physiology and Genetics, NASU), Dr. Victor Prima, Dr. Olena Martinenko (Institute of Molecular Biology and Genetics, NASU), Dr. Tetyana Cherevchenko, Dr. Nataliya. Zaimenko (National Botanical Garden, NASU), Dr. Orest Demkiv, Dr. Christina Chaban (Institute of Ecology of the Carpathians, NASU), Dr. Rostislav Gvozdyak (Institute of Microbiology and Virology, NASU). Ukrainian scientists actively began work for preparation and performance of ground-based experiments with CUE objects: plant growing in NASA devices, which had been kindly sent to Ukraine from the KSC and manipulating with them according to the tasks of the experiments.

In June, 1996, the CUE Experiment Requirements Document (ERD) was prepared by Ms. Rina Thompson — Bionetics/BIO-3, CUE Project Engineer, and was approved by Deborah Vordermark — Bionetics/BIO-3, Manager, Payload Mission Management, Cynthia Martin — NASA/BR, Space Science Payload Mission Manager, William Knot — NASA /MD-RES, Biological Program Chief Scientist, James Guikema — Kansas State University, Principal Investigator, Mary Musgrave — Louisiana State University, Principal Investigator, Fred Sack — Ohio State University, Principal Investigator, Elizabeth Kordyum — Institute of Botany, Ukraine, Principal Investigator, and with concurrence of Corinne Johnson — Dynamac/DYN-3, CUE Project Science Coordinator.

The NASA Payload Ground Operations Directorate at KSC planned to develop and operate the CUE payload using the Space Shuttle. The payload's estimated launch date of October 9, later changed to November 19, 1997, on STS-87. The ERD served as the central repository for all CUE payload information, and in the event of conflict, it had precedence over other payload mission management documentation. This document was for use by KSC Payload Development Team during the development of required Space Shuttle Program and other internal documentation. The ERD controlled all phases of payload development and operation. The ERD established the following to achieve a successful mission:

- ✦ *Experiment Science Objectives*
- ✦ *Hardware and Space Shuttle Program resources*
- ✦ *Payload operations*
- ✦ *Associated ground support requirements/operations.*

Experimental descriptions were based on the original science proposal submitted to NASA on March, 1995, the agreements recorded in the Kickoff Meeting Protocol of November, 1995, and the Definition Phase ground studies results. Two categories of experiments were recognized: Autonomous experiments were designed to meet objectives independently and tissue sharing experiments were to obtain tissue from the autonomous experiments.

The underlying goal of the CUE experiment was to examine and to understand the effects of gravity in mechanisms of cell biology. Fundamental knowledge of the role of gravity in cellular and developmental biology will be crucial to long-duration manned space missions and to the success of any space-based CELSS initiative. As such, this experimental imperative directly supported the Human Exploration and the Development of Space Enterprise, as a way "to contribute to creating new scientific knowledge by studying the effect of the space environment on important biological, chemical, and physical processes" (NASA Strategic Plan). Furthermore, this project focused on plant processes since plants are necessary for the decision of fundamental and applied problems of space and gravitational biology. Thus, the project also directly supported the NASA Headquarter's Life and Biomedical Sciences and Application Division's goal of "effectively using microgravity and other unique aspects of the space environment to enhance our understanding of fundamental biological processes".

Although an interest in the fundamental aspects of gravitational plant biology is the ultimate motivation for these experiments and provides the rationale for a science-based peer review, a primary goal for this project was also the collaborative relationship between plant space biologists in Ukraine with their counterparts in the United States. The project is the

direct result of diplomatic discussions between the two countries, discussions which began prior to any meeting of the five US principal investigators. The choice of principal investigators to be included in this project was the result of discussions with the Ukrainian colleagues, led by Dr. Elizabeth Kordyum of the NASU and the Coordinator for Space Biology of the NSAU, who provided matches in research interests between colleagues in Ukraine and US space plant scientists. The selection of the US investigators was the result of competitive process which selected and maximized gravitational plant biology possible on this integrated mission.

QUE SCIENTIFIC OBJECTIVES

(authors' original text)

1. Microgravity effects on pollination and fertilization

Experiment Acronym: **B-STIC**.

Principal Investigator: Dr. Mary Musgrave (US).

Principal Investigator Dr. Elizabeth Kordyum (Ukraine).

Co-investigator: Dr. Antonina Popova (Ukraine).

Hardware: PGF.

Category: Autonomous.

A particularly sensitive time in the life cycle of a plant growing in microgravity seems to be

the transition from the vegetative to the reproductive phase. Plants grown full term in space failed to produce any seed at all, and in the experiments in which seeds were produced, the seed quality was poor (Parfenov & Abramova, 1981). Dosimetry readings taken in flight have failed to explain this ubiquitous sterility in terms of a radiation load, thus some developmental failure during plant reproduction seems to be triggered by the microgravity environment itself.

Reproductive events in angiosperms have a number of stages which could potentially be influenced directly by gravity. Microsporogenesis, the production of pollen, megasporogenesis, the production of egg cells, pollination and fertilization are all complex developmental events. Considering the importance of seed production in the plant's life cycle, it is unfortunate that we have little information on the fate of this complex developmental process in microgravity. At the present time there are only some communications on the development of generative organs in higher plants using *Muscari racemosum* and *Arabidopsis thaliana*, (Kordyum et al., 1979; 1983; Merkys & Laurinavichius, 1983). at the cellular level in microgravity. Recent experiments on the US space shuttle with *Arabidopsis thaliana* have added to the information available. (Kuang et al., 1993, 1995, 1996; Mathews et al., 1993, Musgrave et al., 1993, 1994). These results suggest that some developmental process (or processes)

are adversely affected by the absence of a gravity vector (Halstead & Dutcher, 1984; 1987; Cowles et al., 1988; Mashinsky et al., 1994; Kordyum et al., 1994; Kordyum, 1994). It is very interesting to study the fundamental processes which are necessary for seed formation, namely pollination and fertilization, under the influence of microgravity. *Brassica rapa*, a compact plant with a short life cycle, is ideal for such studies.

Close comparison of pollination and fertilization processes in microgravity with ground controls had not been possible before this experiment because we had not been able to control when pollination occurs. It is only through the availability of a trained participant for in-flight activities that controlled pollination and in-flight fixation of pollinated flowers will be possible. This will yield important information on pollen generation and maturation in microgravity, pollen-stigma interactions, pollen tube growth, fertilization and early embryo development.

Two plant populations are involved in this study. One population will be launched at the pre-flowering stage of growth. A second population will be seeds at time of launch. Using a pollination kit, the cosmonaut will perform daily pollinations on the first population, and mark the flowers pollinated with color-coded wire loops. Pollination wands will be stored with desiccant for subsequent viability assays on pollen. Several pollinated flowers will be fixed in-flight for microtubule studies, but the bulk of the



flow will be returned fresh for extensive processing on the ground. Siliques will be obtained from the first population of plants launched at the pre-flowering stage. For high quality microscopy it will be necessary to dissect out the developing ovules prior to in-flight fixation. A small portion of the siliques will be placed in tissue culture for embryo rescue techniques. From the second population of plants which were seeds at time of launch, flower buds will be obtained. In vivo tests on these buds will include pollen viability (fluorescein diacetate staining), pollen germination, pollen tube growth through the stigma (aniline blue staining), and staining for stigma esterases. Flower buds will be scored for size prior to dissection and processing for microscopy. In many ways, study of this single event in a plant life cycle integrates many outstanding questions in gravitational biology.

2. Effects of altered gravity on the photosynthetic apparatus

Experiment Acronym: **B-PAC**.

Principal Investigator: Dr. James Guikema (US).

Principal Investigator Dr. Elizabeth Kordyum (Ukraine).

Co-investigators: Dr. William Odom (US), Emmanuel Hilaire (US), Dr. Olena Nedukha (Ukraine), Dr. Svetlana Kochubey (Ukraine), Dr. Nadija Adamchuk, (Ukraine), Dr. Olga Volovik (Ukraine).

Hardware: PGF.

Category: Autonomous.

The effects of spaceflight on plant cell ultrastructure have been documented by experiments aboard Biosatellite II (Reynolds & Saunders, 1971), Cosmos series biosatellites (Ilyin, 1983; Podluzky, 1992; Rasmussen et al., 1992) and orbital platforms Salyut, Mir, US Space Shuttle (Krikorian & O'Connor, 1984; Moore et al., 1987 a, b; Levine & Krikorian, 1992). In a number of these experiments, plant materials were grown photoautotrophically for a significant amount of time (Cherevchenko et al., 1986; Halstead & Dutcher, 1987; Kordyum, 1994; Kordyum et al., 1994; Claassen & Spooner, 1994).

Photosynthesis is the single most important contributor to food and fiber production. At the same time, the photosynthetic apparatus is extremely sensitive to a variety of stress factors, including high temperature (Apel & Klaus, 1978; Harding et al., 1990 a, b; Ferguson et al., 1990, 1993; Xu et al., 1995 a, b), nutrient deprivation, drought, high light, and deficits of carbon dioxide. The data of Ukrainian and American investigators (Kordyum, 1994; Kordyum et al., 1994; Dutcher et al., 1994; Tripathy et al., 1996), strongly suggest that an aspect of the space environment has a stressful effect on the photosynthetic apparatus. Since photosynthesis impacts food, atmosphere and water regeneration, it will be critical to understand the effects of the space environment on the dynamics of such a complex

process. At present there are few data concerning structure and functioning of chloroplasts in microgravity, and they are often contradictory (for reviews, see Halstead & Dutcher, 1987; Kordyum, 1994; Kordyum et al., 1994; Dutcher et al., 1994; Claassen & Spooner, 1994). Space-grown tissues often show a decrease in thylakoid membrane stacking, and an increased number of plastoglobuli, indicative of thylakoid membrane turnover (Popova et al., 1989) for experiments involving *Chlorella*. Reports of the pigment content of space-grown tissues are contradictory, with Abilov et al., (1986) and Aliyev et al., (1987) demonstrating an increased chlorophyll content in space-grown pea, while the data of Laurinavichius et al. (1988) suggest the opposite. Both chlorophyll and carotenoid levels of maize were reduced after growth for 19 days on Mir (Rumyanzeva et al., 1990), and levels of pigment were reduced 35 to 50 % in *Chlorella* (Antonyan et al., 1992). Alterations in membrane fluidity, mediated by changes in fatty acid composition, or in the level of stress-induced lipid peroxidation (Kordyum et al., 1994). could have a profound effect on resource partitioning across membranes and on mechanisms of chemiosmotic energy conservation. Tripathy and coworkers (1996) found decreases in light-driven electron transport capacity as much as 25 % at saturating light intensities and carbon dioxide concentrations in wheat leaves grown in microgravity. The mechanistic cause for

these effects, however, has not been elucidated. Nor are we certain that these effects are caused by a direct microgravity effect, mediated by a gravity sensitive receptor, on the biological system. Rather, it seems likely that the space environment impacts photosynthesis in an indirect manner, such as by limiting carbon dioxide acquisition and favoring photoinhibition and photooxidative stress, and is manifest in the same way as are other stress-induced reductions in photosynthesis.

It was important to examine both light harvesting/energy conversion and carbon fixation pathways in understanding spaceflight effects on photosynthesis. Our understanding of thylakoid membrane structure and function has advanced greatly in the last ten years because of a concerted research effort encompassing molecular biology techniques, the biochemical isolation of membrane protein complexes, and the three dimensional structural analysis of reaction center protein crystals with atomic resolution (Krauss et al., 1993; Schubert et al., 1995; Deisenhofer et al., 1985). These studies and the refined structural knowledge which they provide, give us a baseline to which we can compare spaceflight effects on photosynthesis.

This experiment will utilize different stages of gravitropically naive tissue of *Brassica rapa* seedlings grown in the PGF to examine the effects of altered gravity on the photosynthetic apparatus. The objective of the B-PAC experiment is to compare changes in ultrastruc-

ture, biochemical composition and functional changes induced by microgravity, clinorotation, hypergravity and unit gravity on the photosynthetic apparatus of *Brassica rapa* seedlings at different stages of vegetative development. *Brassica rapa* seeds will be launched in the dry stage and imbibed on orbit to produce gravitropically naive tissue. Some tissue will be harvested and fixed or frozen on orbit. Fresh tissue from the 12—14 day old seedlings will return to earth for extensive processing after landing. Leaf tissue available for tissue-sharing from the older plants (24—27 days old) in the B-STIC experiment will also be processed for comparison.

The post-flight tissue analyses to be performed on either fresh, frozen or fixed tissue included 1) biomass partitioning, 2) electron microscopy study of chloroplast ultrastructure organization and ultrastructure of mesophyll cells; 3) confocal microscopy for gross anatomy of the mesophyll; 4) analysis of pigment-protein and protein composition using various procedures of chloroplast separation in SDS-PAGE (polyacrylamide gel); 5) analysis of pigment system state and energy transfer chain by measuring of low temperature emission and excitation spectra; 6) testing of overall photosynthetic apparatus activity and state of electron transport chain by measuring induction fluorescence curves (Kautski effect) of leaves and chloroplasts; 7) measuring of photochemical reaction rates of photosystems I and n

(reduction rates of Hill reagents and oxygen evolution). These analyses and techniques compliment each other in the overall assessment of the effects of altered gravity on the photosynthetic apparatus.

3. The interaction of microgravity and ethylene on soybean growth and metabolism

Experiment Acronym: **SOYMET**.

Principal Investigator: Christopher Brown (US).

Co-investigators: Dr. James Guikema (US), Dr. William Piastuch (US), Dr. Olena Nedukha (Ukraine), Dr. Victor Prima (Ukraine), Dr. Dmytro Klymchuk (Ukraine).

Hardware: BRIC-60.

Category: Autonomous.

The aim of this experiment is to investigate the interaction of microgravity and ethylene on biomass partitioning and carbohydrate metabolism in etiolated soybean seedlings.

As it is known, space flight has profound effects on plant growth and metabolism (reviewed by Halstead & Dutcher 1987, Schulze et al., 1992; Dutcher et al., 1994; Kordyum, 1994), cellular and organelle structure (Hilaire et al., 1995 a, b; Klymchuk et al., 1992; Moore et al., 1987 a-c; Volkmann et al., 1991), chromosomal integrity (Levine & Krikorian, 1992). Attention has been paid in recent years to the influence of space flight and/or altered gravity on carbohydrate, in particular starch, metabolism (Brown et al., 1988, 1996; Brown & Piastuch, 1994). By far the majority of studies found



that starch content was reduced in space-grown plants relative to ground-controls. Leaves of pea plants grown in space lacked starch reserves or contained very few grains (Abilov et al., 1986, Aliyev et al., 1987). Johnson and Tibbitts (1968) found significantly lower starch and higher soluble sugar concentrations in leaves of space-grown pepper plants. Other examples of decreased starch concentration or lower starch grain volume in space-grown tissue have been noted in *Arabidopsis* (Laurinavichius et al., 1988) and maize (Moore et al., 1987 a). In experiments using germinating soybeans as a simple model plant system for starch synthesis (Brown & Huber, 1987), they found that germinating soybean cotyledons grown in space had significantly reduced concentrations of starch (Brown et al., 1995) relative to the ground-controls. Of the enzymes of carbohydrate metabolism measured in the gravity-treated plants, only ADP glucose pyrophosphorylase (AGPase) was reduced. AGPase is known to be rate limiting in the biosynthesis of starch in plant tissue (Nakata & Okita, 1995, Stark, 1992); therefore, gravity-mediated control of the activity of this enzyme could influence the flux of carbon into starch. The activity of this enzyme appears to re-adapt quickly upon return to 1-g conditions on earth. It is also interesting to note that carbohydrate breakdown and mobilization in storage organs such as carrots and potatoes was increased as a result of ethylene treatment (Stitt et al., 1986).

It was postulated that this was brought on by increased concentrations of fructose-2,6-bisphosphate, a known activator of respiration. Therefore, the enhanced ethylene production in space-grown plants may be increasing the rate of starch breakdown.

Ethylene is a volatile plant hormone which diffuses throughout the intercellular spaces to outside the tissue (Jackson, 1991). There are numerous examples of increased ethylene production induced by biotic or abiotic agents (Hyodo, 1991). It has been shown that there was a substantial increase in ethylene production due to horizontal clinorotation (Leather & Forrence, 1972, Salisbury & Wheeler, 1981). Historically this has been attributed to the mechanical stimulation inherent in the clinorotation treatment. However, it has been shown that there was a substantial increase in atmospheric ethylene concentration in soybean seedlings grown in space (Brown et al., 1995) where there is a lack of mechanical stimulation. However, these samples were taken post-flight and may have been subjected to mechanical stress. In clinorotation studies with soybean seedlings, where mechanical stress on the plant was carefully avoided, there was a similar increase in ethylene production (Hilaire et al., 1996). Therefore, the increase in ethylene may be a direct result of the altered gravity conditions (microgravity or clinorotation) on the plant rather than a result of mechanical disturbance. On-orbit gas sampling

would clarify this point with regard to the overproduction of ethylene in space.

It is known that cytosolic calcium plays a role in carbohydrate metabolism through the action of calcium-dependent protein-kinases (Huber et al., 1995). Others have reported that calcium may induce an asymmetrical distribution of auxin (Li et al., 1991; Evans et al., 1992), which could result in tissue auxin concentrations leading to overproduction of ethylene (Romano et al., 1993). Recent reports describe a redistribution of free calcium in cells of plants under gravistimulation (Dauwalder et al., 1985) and in microgravity (Hilaire et al., 1995). Therefore, it can be argued that redistribution of calcium in plants grown in space might result in alterations in carbohydrate metabolism, changes in auxin concentrations which could result in the overproduction of ethylene, or a combination of all of these.

In etiolated soybean seedlings which have imbibed, germinated and grown in microgravity, the following parameters were examined. 1) the concentration of starch, soluble sugars, lipid and protein in the cotyledons by using spectrophotometric and microscopic techniques, 2) the activities of critical, rate limiting enzymes in the metabolism of stored reserve material in the cotyledons, including ADP glucose pyrophosphorylase, sucrose phosphate synthase, fructose bisphosphatase, and lipase, and 3) differential gene expression in root, hypocotyl, epicotyl and cotyledon tissue, and

measurements with Western blot analysis of ADP glucose pyrophosphorylase. All measured parameters will be compared to appropriate ground control specimens.

In-flight, gas samples (2 CO₂ and 2 ethylene) from each canister half will be taken just prior to opening for watering by the cosmonaut. Immediately following watering, and on every other day after imbibition, gas samples will be taken on orbit. The upper half of each canister will have gas samples taken, be opened for complete venting, closed and sampled for gas again. The lower half of each canister will remain closed throughout the flight and will be sampled for gas composition.

It was anticipated that such the experimental approaches allow to obtain new data on plant carbohydrate metabolism and an interaction of ethylene and microgravity in plant vital activity in space flight.

4. Effects of microgravity on pathogenesis and defense responses in soybean tissues.

Experiment Acronym: **SOYPAT**.

Principal Investigator: Dr. Jan Leach (US).

Co-investigators: Dr. James Guikema (US), Dr. Christopher Brown (US), Dr. Olena Nedukha (Ukraine).

Hardware: BRIC-60.

Category: Autonomous.

The experiment was designed to test the hypothesis that microgravity will enhance the pathogenic effects which fungi have on the host plant.

As on earth, efficient production of crops in space requires an understanding of the physical and biological requirements and parameters for optimal growth of the crop plant. The efficiency of crop production worldwide testifies to the benefits of the application of this knowledge on earth. The exploration of the unique requirements for crop production in space, however, is in its infancy. Preliminary studies indicate that microgravity may profoundly impact plant cell development, cytology, and physiology (Halstead & Dutcher, 1987; Dutcher et al., 1994; Krikorian & Levine, 1991; Krikorian et al., 1992). For example, developing plant cell walls are thinner and contain less lignin (Cowles et al., 1984; 1989). These alterations may not only reduce plant yields, but may also have a significant impact on interactions between the plant and microorganisms. Anecdotal evidence suggests plants grown in microgravity are more susceptible to microbial invasion (Korydum, personal communication). If true, the implications for crop production in space are serious: the increased accessibility of plants to microorganisms may mean that the plants are not only more susceptible to recognized pathogens, but they may also be susceptible to pathogenic colonization by opportunistic pathogens, i.e., organisms that are not normally pathogens to the plant. The first objective is to determine if soybean seedlings which are grown in microgravity are quantitatively more susceptible to root rot caused by *Phyto-*

phthora sojae than seedlings grown in unit gravity.

Enhanced pathogenicity may have several underlying causes. Microbial vigor may be increased in microgravity, or the microbes may become somewhat resistant to the effects of toxic compounds produced by the plant. In this project, they emphasized the plant side of the interaction. They applied concepts derived from the current understanding of how plants resist pathogens, targeting specific flaws that might allow enhanced susceptibility. Enhanced susceptibility in microgravity might result from changes in the preformed plant barriers to pathogen ingress (such as decreased wall strength resulting from reduced lignification) or changes in nutrient partitioning (such as increased carbon availability or membrane fluidity). It was planned to compare cell wall structure and carbohydrate partitioning in soybean seedlings grown in microgravity versus unit gravity and determine if these correlate with increased susceptibility to the root rot pathogen.

Plant development in microgravity also might impair the plant's ability to actively resist pathogen ingress, that is, induced plant defense compounds may not be formed or, if formed, may not locate to appropriate sites. In general, compounds that are induced during plant resistance responses include soluble antibiotic compounds called phytoalexins, structural reinforcements such as the phenolic



polymers lignin or suberin, enzymes such as those involved in phytoalexin biosynthesis or phenolic polymer deposition (e.g., peroxidases), or enzymes that may directly affect the pathogen, such as chitinases or p-glucanases (Graham & Graham, 1991b). We will determine if, after growth in microgravity, differences in the accumulation and distribution of structural compounds (phenolic polymers) and enzymes whose accumulation and location is correlated with resistance (anionic peroxidases and phospholipase D) occur in soybean challenged with two races of *P. sojae*, race 1 and 25, which cause resistant and susceptible responses, respectively, under conditions of unit gravity.

For the proposed studies, we have selected the interaction between *P. sojae* and soybean as a model system. *P. sojae* causes root and stem rot (Schmitthenner, 1985, 1989; Schmitthenner et al., 1994). *P. sojae* is a devastating pathogen of soybean, causing annual yield losses exceeding \$250 million. Colonization in host tissues in resistant interactions is similar to colonization in susceptible tissues for 24 hr. After this time, colonization ceases in resistant tissue and is localized to only a few cell layers (Keen & Yoskikawa, 1983). The mechanisms of resistance in interactions between *P. sojae* and soybean have been studied predominantly in hypocotyl and cotyledons (Frank & Paxton, 1971; Ebel, 1986; Graham & Graham, 1991a, b). In general, the Rps-gene

mediated resistance to *P. sojae* is correlated with a hypersensitive response (a localized rapid cell death of the host tissue) and the accumulation of several defense associated compounds. The understanding of the biochemical basis of resistance of root tissue has lagged behind that of hypocotyl tissue, although root resistance was shown to involve the accumulation of glyceollin, anionic peroxidases and phenolic polymers. Unlike in other tissue, (Graham & Graham, 1991c) resistance in roots does not require light. Thus, the root system is appropriate for the comparison between resistant and susceptible interactions.

All of the objectives involved comparisons of soybean roots, grown in microgravity and unit gravity, subjected to the following treatments: untreated, or infected with *P. sojae* race 1 (resistant), or race 25 (susceptible) for determination if soybean roots are more susceptible to *P. sojae* in microgravity vs unit gravity. (8, 9 the same).

5.1. Effects of microgravity on differentiation and phototropism in moss protonema *Ceratodon* and *Pottia*.

Experiment Acronym: **SPAM-A**.

Principal investigator: Dr. Fred Sack (US).

Co-investigators: Dr. Volker Kern (US).

Hardware: BRIC-LED.

Category: Autonomous.

Moss protonemata grow solely by tip growth, that is the most apical cell of the filament

extends only at the tip. Dark-grown protonemata of mosses such as *Ceratodon* grow upwards in the dark and are thus negatively gravitropic (Knight & Cove, 1991; Sack, 1993; Chaban, 1992). This cell type is unique compared to cells in almost any other organism, since the growth of the individual plant cell itself is completely oriented by gravity. Thus, both the processes of gravity sensing and the gravity response occur in the same cell. Gravity sensing appears to rely upon amyloplasts (starch-filled plastids) that sediment. This sedimentation occurs in specific zones and plastid zonation is very complex with respect to plastid morphology, distribution and gravity (Walker & Sack, 1990, 1991; Young & Sack, 1992, Schwuchow et al., 1995). Dark-grown apical cells of *Ceratodon* and *Pottia* have a highly complex zonation as seen in the electron microscope (Walker & Sack, 1992; Chaban, 1992). Plastid zonation is particularly complex. Amyloplasts sediment to the side wall on horizontal placement, and along the length of vertical cells (Schwuchow & Sack, 1993). The key question is whether amyloplast zonation along the length of the cell differs at 1 g and in microgravity. Microtubules may function both in producing gravitropic curvature as well as in controlling plastid sedimentation (Schwuchow et al., 1990; Schwuchow and Sack, 1994; Walker and Sack, 1995a,b). Since gravity plays crucial roles in the growth and organization of this highly specialized cell, it is important to deter-

mine whether this cell differentiates normally in microgravity.

Visible light inhibits — but may not totally eliminate — protonemal gravitropism (Hartmann et al., 1983; Hartmann & Weber, 1990), and unilateral red light induces a positive, phytochrom-mediated phototropism (Hartmann & Weber, 1990; Demkiv et al., 1995). So, *Ceratodon* protonemata are an excellent system for the study of gravity on cell organization since differentiation is influenced by light. Since these cells are phototropic as well as gravitropic, spaceflight offers an opportunity to resolve whether both phototropism and gravitropism occur simultaneously.

The experiment objectives are 1) to determine the effects of microgravity on cell differentiation, 2) to assess the role of gravity in plastid distribution, especially whether amyloplast zonation along the length of the cell differs at 1-g and in microgravity, 3) to assess the phototropic response of the protonema in the absence of a complicating g-force, 4) to determine whether tip growth is straight in microgravity in dark grown protonemata or whether the absence of an orienting signal (gravity) increases protonemal nutation (undulation). If so, one would predict that provision of another unilateral signal (red light) would dampen the undulations, and 5) to compare responses between *Ceratodon* and *Pottia* species.

Prior to launch, vegetative fragments of moss protonemata (*Ceratodon*: wildtype and "wrong-

way" mutant) will be sterilely sown in agar containing-nutrients and sucrose. *Pottia* (wild-type) dishes will be prepared by Dr. Demkiv's group separately. The petri dishes (54 dishes, 6 cm in diameter) will be stowed into BRIC canisters. Each petri dish in a BRIC is provided with a single red. (660 nm) LED light source. Each LED can be powered on or off separately. After 7 days into flight, 300—400 protonemata should have developed and be ready for light treatment. Including Dr. Demkiv's *Pottia* experiments, 18 individual light/dark treatments will be performed (3 petri dishes each). Treatments included reference samples (remaining in total darkness for 7 and 16 days), short-term illumination (time course of 2, 12, 24, 48 h), short-term illumination followed by darkness (2+2 h, 2+24 h) and long-term illumination (7 and 16 days). At the end of each treatment, the protonemata will be chemically fixed on orbit.

After landing, the samples will be photo-documented and embedded for sectioning for light and electron microscopy. The angle of all tip cells in a dish with respect to the position of the light will be measured. A limited time course of phototropic curvature will also be obtained. The cell differentiation of the *Ceratodon* wildtype and the "wrong-way" mutant as well as the *Pottia* wildtype will be assessed by characterizing such parameters as plastid zonation, plastid morphology, subapical cell branching, and degree of vacuolation.

5.2. Effects of red light and microgravity on the ultrastructure of *Ceratodon* and *Pottia* protonemata.

Experiment Acronym: **SPAM-B**.

Principal Investigator: Dr. Orest Demkiv (Ukraine).

Co-Investigators: Dr. Christina Chaban (Ukraine), Dr. Alexandra Kardash (Ukraine), Dr. Ya Khorkavtsiv (Ukraine), Dr. Roman Rupetsky (Ukraine).

Hardware: BRIC-LED.

Category: Tissue sharing.

Comparative ultrastructural investigations of the apical protonemal cells of the mosses *Ceratodon purpureus* and *Pottia intermedia* will be carried out on tissue produced from the SPAM experiment. Protonemata grown in microgravity will be compared to 1-g reference samples. Cultures are incubated in continuous darkness or illuminated for a defined period of time with red light of 660 nm peak wavelength, subsequently followed by darkness periods.

The growth reactions of moss protonemata clearly express an adaptive character. In white light they grow along the surface of their substrate, in darkness they orient upwards and are negatively gravitropic. These differences in behavior demonstrate the close connection between these factors in growth reactions. The experiments planned will allow us to analyze not only the fine structure of apical protonema cells grown in microgravity but should also detect ultrastructural changes induced by red



light, as well as the recovery of growth gradients abolished by the red light irradiation.

For the flight experiment, sterile cultures of the mosses *Ceratodon* and *Pottia* (growing in controlled conditions: 20 °C, 80—90 % rel. humidity, 16/8 h white light/darkness period, 60 mm Petri dishes, Knopp medium) will serve as stock for the flight samples. Flight cultures will be prepared by sowing spores and transferring protonemal fragments to new dishes. Twelve *Pottia* dishes will be pre-cultured for 5—7 days in white light and, after checking their growth status, stowed into the BRIC canisters. It is desirable to refrigerate these cultures before launch. The *Ceratodon* flight samples will be prepared separately as late as possible with respect to the launch date. During the first 6—7 days in orbit the moss protonemata should adapt to darkness. The sequence of lateral red irradiation will be initiated on day 8 of the flight. There will be parallel treatments for *Ceratodon* and *Pottia*: 1) controls remaining in darkness, 2) all other dishes will be irradiated with lateral red light for 2 h, 3) fixation of protonemata will be conducted a) immediately after irradiation, b) 2 h and (c) 24 h after subsequent darkness.

After landing all material will be processed (photographing followed by embedding for electron and light microscopy) at Dr. Sack's lab in Ohio. Tissue for electron microscopy will then be sent to the Ukraine for continuing ultrastructural analyses. The character of protonemal

growth in darkness, phototropism and autotropism after red light irradiation will be studied.

6. Microgravity effects on structure, function and organization of root cells in *Brassic rapa*.

Experiment Acronym: **ROOTS**.

Principal Investigators: Dr. Elizabeth Kordyum (Ukraine), Dr. Mary Musgrave (US).

Co-investigators: Dr. Gennady Martyn (Ukraine), Victor Zaslavsky (Ukraine).

Hardware: PGF.

Category: Tissue sharing.

The root gravireceptive organ is formed in microgravity but does not function in the absence of a gravity vector. In previous investigations of root cap statocytes in microgravity and under clinostating (Sievers et al., 1976; Tarasenko et al., 1982; Volkmann et al., 1991; Todd, 1992), the most work has been performed on 2—4 day old seedlings. In this study, the structure-function examination of graviperceptive cells were to be examined in older seedlings of various ages in the main (embryonal) root cap and in lateral root caps formed in microgravity as well as the structure-function organization of cells of other root growth zones.

The objectives of the study are to compare 1) the rearrangements of cell organelles in differentiation process in microgravity with the same in clinorotation and unit gravity, 2) RNA and DNA content in cells of different root growth zones, 3) carbohydrate metabolism and root enzyme function; 4) the degree of development

of a root system (a length of a main root and length and number of lateral roots). Measurements include redox potential of the medium prior to root harvest, morphometric study of root development, light and electron microscopic evaluation, protein content, ADH enzyme analysis and ADH enzyme localization.

Root tissue from two populations are involved in this study. One population will be launched at the pre-flowering stage of growth; the second population will be seeds at time of launch. Some root tissue of *Brassica rapa* will be harvested on orbit (fixed or frozen) and fresh tissue processed after landing.

For root analysis, data is collected on individual root systems (morphometric analysis), and parts of root systems processed for microscopy. For enzyme analyses, the root systems are bulked by PGC (for one sample from each PGC) and processed in that way. Results are referenced to the fresh weight of the roots and the protein content. Redox potential of rooting medium, an indicator of oxygenation, is determined for each PGC prior to extraction of roots.

7. Spaceflight effects on gene expression in *Brassica rapa* and soybean tissue.

Experiment Acronym: **GENEX**.

Principal investigator: Dr. Victor Prima (Ukraine).

Co-investigators: Dr. William Piastuch (US), Dr. Olena Martynenko (Ukraine).

Hardware: PGF, BRIC-60.

Category: Tissue sharing.

The successful existence of all higher organisms is dependent upon their ability to coordinate complex developmental changes and to sense and respond to fluctuations in their surroundings. The sensing by a plant cell of changes in its environment is often coupled by a metabolic response, either to compensate for the change (such as a gravitropic or phototropic change in plant growth form) or to permit cell survival in spite of the change. Earth gravity is one of the most stable factors of environment therefore its changes may have stress-like effects on plant cells. We know little about the signal transduction pathways which govern the responses of plant cells to gravity changes. The auxin-induced family of genes, SAUR, have been investigated in previous studies on soybean and *Arabidopsis* cells. It was shown that in gravity-stimulated seedlings, an asymmetric accumulation of the SAUR transcripts is evident before visible bending of the plants occurs. The SAUR transcripts accumulate in the cells that are destined to elongate, presumably due to a rapid redistribution of endogenous auxin.

The objective of this study is to examine *Brassica rapa* tissues for the intermediates in signal transduction pathways after space flight compared to unit gravity conditions. It is important to investigate the cellular content of high- and low-molecular weight proteins and specific RNA or RNP corresponding to various types of stress-related genes, in particular, SAUR and

ubiquitin genes, also, correlation of different types of nuclear and cytoplasmic RNP.

Brassica rapa seedling tissue will be harvested and frozen in flight after various exposures to microgravity. The harvested tissue will be used for investigation of kinetics of spaceflight effects on gene expression in growing plants. At time of harvest, the tissue will be separated into leaf and root segments to allow for post-flight analysis of distribution of stress-related genes within the plant.

After landing, plant materials will be extracted and the RNA and proteins will be purified and quantified with following fractionation and agarose gel electrophoresis. Northern blot-hybridization with specific labelled DNA probes will determine the presence of mRNAs for various signal response genes. By PCR technique, probes will be generated for genes encoding various types of stress-related genes as well as for genes encoding the key enzymes. If microgravity is perceived by the plant as a stress, it is likely that cell protooncogenes, ubiquitin genes, heat-shock-like genes or other protective genes would be induced. It is important to study the distribution of such genes (SAUR family genes) in various parts of a plant exposed to microgravity action. Results of this investigation will be compared with experiments carried out in unit gravity and during clinorotation.

8. Spaceflight effects on amino acid content in *Brassica rapa*.

9. Spaceflight effects on phytohormonal content in *Brassica rapa*.

10. Spaceflight effects on lipid content in *Brassica rapa*.

Experiment Acronyms: **AMINO**, **PHYTO**, and **LIPIDS**.

Principal Investigator: Dr. Elizabeth Kordyum (Ukraine).

Co-investigators: **AMINO**: Dr. Tetyana Cherevchenko (Ukraine), Dr. Nataliya Zaimenko (Ukraine), Dr. Nataliya Sytnyanskaya (Ukraine).

PHYTO: Dr. Ludmila Musatenko (Ukraine), Dr. Valentina Generalova (Ukraine), Dr. Tatjana Cherevchenko (Ukraine).

LIPIDS: Dr. Olena Zolotareva (Ukraine), Dr. Nataliya Mikhaylenko (Ukraine).

Hardware: PGF.

Category: Tissue sharing.

The carbohydrate, phytohormonal and amino acid contents of plant tissues are extremely responsive to environmental factors. Changes may indicate the plant's response to stress. In the root zone, for instance, stress caused by flooding and the accompanying anaerobiosis yields an accumulation of specific amino acids and high levels of compounds such as 4-aminobutyrate have been observed both in flooded tissues and in legume root nodules (also nearly anaerobic). Thus, quantification of these and of phytohormones which mediate cellular signaling events will provide information on the status of spaceflight grown materials.



AMINO: Formation of every amino acid is a result of definite energetic processes. The environment is known to affect plant amino acid content. Therefore, an investigation of the microgravity influence on amino acid synthesis will allow the possibility to analyze the energy status of plant metabolic activity in microgravity. Fresh tissue will be analyzed post-flight.

PHYTO: Individual components of the plant's hormonal complex take part in plant growth and development regulation. Phytohormones have stimulating or inhibiting effects depending on their concentrations in plant tissues. Among the main plant growth regulating substances are auxins, gibberellin, cytokins and abscisic acid. Their determination is possible by means of HPLC and biotests. Tissue will be frozen in-flight.

LIPIDS: In the framework of the proposed experiment, it was planned to investigate several biochemical parameters of the photosynthetic apparatus of *Brassica rapa* cells, namely lipids and fatty acid contents, carotenoids as well as ADP and ATP contents in chloroplasts. Fresh tissue will be analyzed post-flight.

For these investigations, plant materials will be obtained from three PGCs containing seeds at the time of launch. Tissue will be frozen in-flight, or returned fresh. Plant materials will be extracted and the extracts transported to Kiev where the amino acids, phytohormones, and lipids will be quantified by a variety of techniques. If microgravity is perceived by the plant

as a stress, and if the developing root zone is microaerophilic in microgravity experiments (as suggested by recent results of Musgrave and colleagues), it is expected to observe an increased content of stress hormones (e.g. ABA) and stress indicators (e.g. 4-aminobutyrate).

HARDWARE DESCRIPTION

The CUE payload was to use previously flown hardware as well as new hardware. The new hardware included modified BRIC canisters, fixation hardware, and gas sampling hardware. The Plant Growth Facility was to be flown for the first time on STS-87 to provide the controlled environment to the six Plant Growth Chambers housed inside the unit. (29, 30). The PGF controls and maintains humidity, temperature, and CO₂. Biological Research in Canisters. Fig. 29, 30 hardware was also to be flown as part of CUE. BRIC is a group of hardware composed of different size canisters that provide a passive environment for biological experiments. Two types of canisters were to be flown. Set 1 consists of 5 passive BRIC-60 canisters were to be used by the autonomous experiments: SOYMET and SOYPAT. Set 2 consists of 7 BRIC-LED canisters which was to be used by SPM. The modified canisters provide different light treatments via Light Emitting Diodes (LED) to the specimens during flight.

Fixation hardware was a requirement for the CUE experiments. The development of new fixation hardware was currently being considered by the Payload Development Group at KSC. Samples were to be frozen in 2 Gaseous Nitrogen Freezer (GN₂). The Standard GN₂ Freezer holds the samples at -196°C for 8—10 days. The following kits were to be a part of the payload: Pollination Kit, Gas Sampling Kit, Germination Kit, Watering Kit, Freezing Kit, and Harvest Kit.

THE ROLE OF THE UKRAINIAN PAYLOAD SPECIALIST

It was necessary to train the Ukrainian Payload Specialist to perform the pollination and fixation steps required for the main part of the experiment. Ancillary information to be obtained from the secondary experiments depended on the ability of the specialist to fix and/or freeze portions of the plants on orbit for subsequent analyses on the ground. The quality of the information obtained from the activities depended on the training and interactive capabilities of the cosmonaut. Specific activities were as follows: 1) to open the lids on the Plant Growth Chambers and perform pollination of flowers on set days in the flight schedule; 2) harvest developing flowers for fixation on selected days; 3) use the glove box to fix materials in

flight; 4) use the harvest kit and freezer to preserve materials in flight; and 5) monitor conditions inside the Plant Growth Facility and be prepared to troubleshoot if necessary. The cosmonaut was to be trained in respective Ukrainian and US laboratories to prepare for these activities and might also need training with the investigator(s) on board the KC-135.

EDUCATIONAL PROGRAM

Furthermore, the Ukrainian payload specialist was to play a critical role in the educational outreach activities which were to accompany this mission. *Brassica rapa* is a model system world-wide for studying plant physiology, development, cellular physiology and reproduction. A planned workshop for teacher in-service training was to utilize the talents of the payload specialist to communicate with educators in the Ukraine, and facilitate, through downlink from the orbiting shuttle, communication with Ukrainian school children. The fascination and enthusiasm of space life science, when coupled with the "fast-plant" model system for studying plant biology, were a compelling fusion to stimulate young minds and to attract capable young students to careers in science and engineering

Students had the unique possibility to take part in a real space scientific experiment by

participating in ground-based investigations. It is very important for the students to realize the importance of conducting a proper statistical treatment of the ground-based tests. The great work that was conducted by coordinators from the Junior Academy of Sciences (a scientific supervisor Volodimir Nazarenko) and the State Ecological-Naturalistic Centers (manager Volodimir Verbizky) proved the possibility of the successful realization of the experiment by school children in the usual conditions of a scientific circle. NSAU provided the issue of a textbook on the project "Teachers and students investigate plants in space" translated on Ukrainian language for teachers-coordinators (1500 copies) and a school-book for students-participants of the experiment (10,000 copies). The best participants of the experiment had opportunity to take part in the direct telebridge Kyiv — Houston — board of the space shuttle Columbia and to question an Ukrainian Payload Specialist.

SCIENCE VERIFICATION TEST

The Science Verification Test (SVT) for the CUE was held at the Kennedy Space Center from September 22 to October 16, 1996. Its main goal was to simulate all activities of US and Ukrainian CUE participants, who met in KSC, during the flight experiment realization.

The SVT was performed to verify the readiness of the PI teams from a science operations standpoint, experiment success criteria implementation, GSRD experiment parameters, hardware turnover flow, and all mission procedures for CUE. The operations will include: preflight procedures implementation, mission simulation, and postflight recovery. Plant samples produced were to be checked by the PI, Project Science Coordinator and Life Sciences Contract Quality Assurance to verify samples produced will provide sufficient data to PI. The SVT was scheduled to begin with a simulated launch on September 28, 1996. Pre-launch simulated activities were to begin September 23, 1996. The SVT was to simulate pre/post and the mission duration of 16 + 1 days.

Simulated pre-flight activities. Investigators from US and Ukraine prepared for the full length (16 day) mission simulation. The SVT simulated launch date was Saturday, September 28 at 0800 hrs. Investigators from both countries prepared samples to test and verify pre-flight science procedures. Many procedures were revised or refined as a result of this exercise.

Simulated hand-over. The samples were handed-over to Payload Engineers using the same time-sequence as planned for flight. The samples were weighed and documented so that PIs could see the standard NASA late-access-payload handover process. This is the same process the CUE samples would pass through

prior to transfer to the launch pad and loading into the Shuttle Middeck lockers. The hand-over sequence was followed by transfer of samples to the Kennedy Space Center Orbiter Environmental Simulator.

Simulated inflight monitoring. During the SVT monitoring, investigators responsible for monitoring CUE experiments were given training sessions on NASA protocol for In-flight Communications and In-flight Monitoring. A tour of the Experiments Monitoring Area (EMA) and training on EMA equipment use also was provided. For the SVT a monitoring-area was set up for investigators outside the Orbital Environmental Simulator (OES). The principal investigator team members served as the CUE Payload Specialist Surrogate for SVT simulated-flight operations. In addition to the nominal operations (which verified and allowed refinement of the CUE In-flight Procedures and CUE Timeline), malfunction situations were presented to the PI teams in the form of "green-cards". These practice problems (not simulated in the experiments, only on paper) were discussed by the CUE scientists and KSC Support Team, who comprise the CUE science operations planning group. Daily meetings were held to discuss experiment status and possible solutions to the practice-problems for off-nominal situations.

Simulated landing and sample recovery. After the simulated landing, samples were returned to investigators for processing and

analysis. Investigators practiced their harvest procedures, plant tissue allocation and distribution techniques. SVT simulated post-flight analysis of samples.

On October 16, 1996, the CUE SVT Working Group Meeting, which Ms. Cindy Martin, CUE Mission Manager opened, took place. She stated that the purpose of the meeting was to report on the development status of the payload. She then turned the meeting over to Ms Rina Thompson, the CUE Payload Mission Coordinator. She stated that SVT was highly successful. A number of reports from the US and Ukrainian investigators on their findings from the SVT were presented in the Science Milestones N 7—10 (September, 1996 — April, 1997).

1997

✦ Payload Verification Test, *April, May*.
✦ Ukraine President's Edict "Actions on Ensuring the Preparation and Realization of Joint Ukraine-USA Experiments Onboard the Space Ship "Shuttle", *July 28*.

Staff of State Commission: Sergy Tegipko — Vice-premier-minister of Ukraine, Chairman of the Commission, Olexander Negoda — General Director of National Space Agency of Ukraine, Vice-Chairman. Commission members: Mychailo Zgurovsky — Minister of Education of

Ukraine, Zinovy Kulik — Minister of Information of Ukraine, Igor Mitiukov — Minister of Finance of Ukraine, Dmytro Ostapenko — Minister of Culture and Arts of Ukraine, Boris Paton — President of the National Academy of Sciences of Ukraine, Gennady Udovenko — Minister for Foreign Affairs, Dmytro Khudoly — Head of State Liaison Committee of Ukraine.

✦ STS-87 onboard the shuttle Columbia, *November 19 — December 5*.

PAYLOAD VERIFICATION TEST

The 18-day Payload Verification Test (PVT) was successfully completed on May 19, 1997 at the Kennedy Space Center. The PVT encompassed many areas of the CUE activities. The flight hardware was assembled for a "flight" set and ground control set. The assembly was a very time consuming process which required participation of all of the engineering, mission management and project science groups to accomplish. Thanks to this exercise, the assembly would flow smoothly during the preparations for flight. The complete CUE science team participated during preparation and implementation of the mission activities. The participation of the investigators during the monitoring of the procedures was valuable in refining operations and crew training. The PVT presented the opportunity for the US and Ukrainian

investigators to exchange results of research work at their home laboratories. There were many impromptu meetings during which current studies and future endeavors were discussed. The two Payload Specialist candidates performed all procedures in flight-like conditions for the first seven days of the PVT. The CUE team enjoyed their involvement and appreciated their comments regarding improvements to crew procedures.

The lessons learned from this test promoted several adjustments to the PGF and the BRIC-LED hardware. The PGF temperature and CO₂ controls were significantly improved since the airflow path and seals were changed. The BRIC-LED tray had a fan installed to lower the internal temperature of the canisters. The goals of the test were met and even surpassed. The CUE team had matured and was on the way to flight (Science Milestones N 11, *May/June*).

A Payload Working Group meeting was held at the Kennedy Space Center during the Payload Verification Test. The purpose of this meeting was to discuss the science status, PI information exchange sessions, and to review flight plans and schedules. The meeting was scheduled around the PVT activities.

The PVT was conducted in the Orbital Environmental Simulator (OES) which was programmed to follow the environmental conditions used during the STS-80 mission. Data were collected on the amount of nutrient fluid

used by the plants, the amount of tissue harvested at the end of the test and the number of viable siliques and seeds formed by the BSTIC seedlings.

NOVEMBER 19: APPROACHES

The STS-87 crew was to be commanded by Kevin R. Kregel, who was making his third Shuttle flight. The Pilot, Steven W. Lindsey, was making his first flight. There were three mission specialists assigned to this flight. Kalpana Chawla, serving as Mission Specialist-1, was making her first flight. Mission Specialist-2 Winston E. Scott was making his second flight. Takao Doi from the Japanese space agency (NASDA), would serve as Mission Specialist-3 and was making his first flight. During the flight, Doi was to become the first Japanese and second non-US person to perform a Shuttle spacewalk. Leonid K. Kadenyuk from the Ukrainian Space Agency was making his first space flight as Payload Specialist-1 and is the first Ukrainian to fly aboard the Space Shuttle.

Spaceport News (v. 36, N 16, 1996) has written under the title "Ukrainians prepare for place in history": "The first Ukrainian cosmonaut to fly on the Shuttle can anticipate a place in his national history comparable to that astronauts hold in the United States. Although Ukrainians have flown in space before, it has always been

as Soviet cosmonauts — never as representatives of their own country.

"Overall it is a social uplift that a Ukrainian will be flying in space again soon," said Col. Leonid Kadenyuk, one of two candidates from the National Space Agency of Ukraine vying for the position of the payload specialist on Space Shuttle Mission STS-87 in October 1997".

NASA, Press Kit, November 1997, Space Shuttle Mission STS-87:

"Columbia is targeted for launch on November 19 from NASA's Kennedy Space Center Launch Complex 39-B. The 2 hour available launch window opens at 2:40 p.m. The STS-87 mission is scheduled to last 15 days, 16 hours, 34 minutes. An on-time launch on November 19 and nominal mission duration would have Columbia landing back at Kennedy Space Center on December 5 at about 7:20 a.m.

On launch day, Columbia's eight and a half minute climb to orbit will take a different approach from all previous Shuttle launches. Most of the powered flight period will be as before with a "heads down" roll maneuver performed shortly after liftoff and solid rocket booster separation just over two minutes into the launch. However, at about six minutes into the flight, a second roll maneuver to a "heads up" position will be performed. The second roll maneuver, done gradually over a 20 second period, will allow the Shuttle to acquire communications with the Tracking Data Relay

Satellite System (TDRSS). Use of the TDRSS will remove the need for the Bermuda tracking station support and provide a cost savings to the space agency.

STS-87 will be the 24th flight of Columbia and the 88th mission flown since the start of the Space Shuttle program in April 1981.

The Mission-87 scenario described the Space Shuttle Program operations which occurred from the time after the payload is given to NASA for integration until the payload is returned to the PMM, including preflight, inflight and postflight operations. It was stressed that the CUE payload has time critical samples which must reach microgravity as soon as possible after installation into the PGF and BRIC Canisters. The turnover to NASA should not be more than 3 hours prior to installation. The installation time is driven by the need to minimize the time between integration of plants into the hardware and achievement of microgravity.

The ground scenario encompassed preflight, mission and postflight operations. Activities for the Ground Control Operations simulated the pre/post flight and inflight conditions and requirements. The time delay for ground control operations to begin will be 48 hours after launch. The Orbiter Environmental Simulator (OES) will be used throughout the duration of the simulated flight. The specimens and hardware used for ground controls in the OES will be removed after the same number of days of the mission and processed at KSC. Require-

ments of voice communication loops for CUE were also".

Although our CUE team was very prepared to conduct out the space biological experiment as a result of the activities of the SVT and PVT training and tests conducted in our laboratories, we were agitated and uneasy waiting for the launch. A basic requirement for launch is favorable weather conditions. Early weather forecasts indicated that weather maybe a factor in canceling the launch. Fortunately, the launch was realized and Columbia was orbited. The Ukrainian Government Delegation headed by the President of Ukraine Leonid Kuchma was present at launch. General Director of NSAU Olexander Negoda, President of the National Academy of Sciences of Ukraine Boris Paton, General Director of Design Office "Ujnoye" Yuri Alekseev, Deputy General Director of NSAU Eduard Kuznezov, Director of the Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine Konstantin Sytnik & others were in the delegation. Director of the Institute of Plant Physiology and Genetics Volodimir Morgun and director of the National Botanical Garden Tetyana Cherevchenko also visited the KSC. In the evening, National Space Agency of Ukraine gave a reception in honor of this remarkable event. At once, the questions arose, as to how our objects survived launch, how they feel themselves on orbit, how Leonid Kadenyuk manipulates them, and we waited for first information from orbit with great

impatience and anxiety. We received reports regularly in the next days, especially the information on the environmental conditions in the growth chambers in the PGF, e.g.:

CUE Flight Day 3 press release "Operations of the Collaborative Ukrainian Experiment continue to progress well. Downloaded data files from of the Plant Growth Facility indicate excellent performance. This continuous data will help the ground team to predict the need for maintenance procedures such as a CO₂ filter change or water removal. The Space moss hardware continues to function well, providing low-level LED light to the specimens.

A successful pollination of plants in Plant Growth Chambers (PGCs) 4, 5, and 6 was completed today with many more flowers available for pollination by Payload Specialist Leonid Kadenyuk. Still photos were taken of the B-PAC experiment PGCs (1, 2, and 3) and the BSTIC experiment PGCs (4, 5, and 6).

The SOYPAT experiment received a great deal of attention today. Gas samples were collected from two of the four SOYPAT canisters containing the soybean seedlings which were initiated on the ground. The first SOYPAT harvest followed gas sampling. Twenty-four seedlings were harvested from packets inside the canisters. These harvested seedlings were separated into two groups. One group was marked and frozen in the Gaseous Nitrogen (GN₂) freezer for postflight analysis. The second group was further segregated and placed

inside six KSC Fixation Tubes (KFTs) for chemical preservation.

We regularly expand upon a particular aspect of the CUE mission to provide more insight into the scientific basing for the experiments, explain complex hardware, or point out items of particular interest. Today's topic is the GN₂ freezer. One of the typical requirements for a payload like CUE is the in-flight preservation of tissue, in this case plant tissue. These samples provide a "snapshot" of the plant while it was alive on orbit. Preservation is typically conducted by one of two methods: chemical fixation, which will be described another day, and cryogenic freezing. Each method has its own benefits.

Cryogenic freezing does not introduce any chemicals to the tissue, making it the ideal method for conducting postflight biochemical analysis. Freezing is a difficult proposition in space. Conventional compressor-driven freezers, which are similar to a freezer found in your house, are noisy, power hungry, usually not very cold by science standards, and unreliable in space. The GN₂ freezer is an ingenious solution to this problem. Over the course of the mission, the nitrogen slowly comes out of the carbosil as gaseous nitrogen which is harmlessly vented into the cabin. NASA has used these passive freezers for many years, but until the CUE mission the freezers were limited to about 13 days of operation before their nitrogen ran out. The CUE freezer is larger and capable of

maintaining cryogenic temperatures for an excess of three weeks, making it an ideal tool for long duration missions like STS-87".

CUE FD9 press release "Flight day nine brought continued success for the Collaborative Ukrainian Experiment (CUE) payload. All the CUE hardware continues to perform well. Status checks of the Plant Growth Facility (PGF) and the Space moss (SPAM) experiment hardware indicate excellent operation.

Activity in the PGF was light today. Another pollination was performed today on the BSTIC Plant Growth Chambers (PGCs) 4, 5, and 6; however, the plants are now producing fewer flowers as the plants divert their energy to seed formation instead. The BPAC plants continue to grow well in PGCs 1, 2, and 3. The crew downlinked some video which indicated that some of the BPAC seeds planted on FD8 had already begun germinating prior to planting in the PGCs. The cause of this premature germination is unclear. Scientists are curious, but they do not predict any impact to the experiment.

The third chemical preservation, or fixation, for the SPM experiment was conducted on FD9. Using an actuator tool which resembles a metal pistol, the Payload Specialist successfully performed fixations on several of the samples. The remaining samples will be preserved at later times during the flight. In addition, the LEDs providing light to the SPM samples were reconfigured to a new scheme as required for the investigation. Please refer to the FD8 press

release for a detailed description of how the Biological Research in Canisters — Light Emitting Diode (BRIC-LED) hardware functions to support the SPM experiment.

Today, in a landmark event for the Ukrainian nation, Payload Specialist Kadcnyuk received a telephone call from the President of Ukraine, Leonid Kuchma. President Kuchma congratulated Colonel Kadcnyuk on his achievement and wished him continued success conducting operations for the Collaborative Ukrainian Experiment Payload. The telephone call from the President was followed by a brief press conference with members of the Ukrainian media located in Kiev. This entire event was televised to the Ukraine for broadcast throughout the country".

This information e.g. temperature and carbon dioxide levels necessary for the operation corresponding conditions in the Orbital Environmental Simulator. At the end of the mission we experienced the same anxiety as we waited for the Columbia landing. The weather at the landing site at KSC could have required a landing in California. But Columbia landed at KSC and CUE experiment finished very well. Thanks to the excellent implementation of CUE inflight scenario by Leonid Kadenyuk, the scientists obtained the beautiful spaceflight material for the next analyses in laboratories on the ground.

At the time of Leonid Kadenyuk staying on orbit, 32 students took part in the telebridge



with payload specialist, who answered on questions demanded by students, for example: 1) How did you become a cosmonaut? When did you decide to become a cosmonaut and what did you do to become one? 2) Why were you selected for this space mission? 3) While living in the USA, did you think a lot about your country? What about your country did you most think about, the cities, the natural environment, your friends, or family? 4) While working with the *Brassica rapa* plant, do you look at it as a partner in the experiment? Do you talk with the plants as if they are people? 5) How long is the experiment with *Brassica rapa* going to last? 6) What other experiments are you conducting? 7) Do you have any leisure time in space? 8) How long did it take to prepare for the flight? 9) What was the most difficult thing that you did to prepare for this mission? 10) Do you have children and where do they go to school? 11) Are you able to be alone and have privacy while in space? 12) What were your feelings when you found out that you were chosen for this mission? 13) What are the future applications of the results of this research? 14) Are similar experiments being conducted on other plants? 15) Do you consider this experiment important? How? 16) What other organisms are on orbit with you? 17) Do you expect to achieve mutant [plants in the experiment due to microgravity conditions?

The delegation of the Educational Program executives including 9 students, 2 teachers and

the scientific head from Ukraine Volodimir Nazarenko attended the launch of Shuttle STS-87, where the students met with the President of Ukraine Leonid Kuchma, reported to the author of the Educational Program Paul Williams, had the contacts with their American colleagues and had the possibility to make some interesting educational-cognitive excursions and trips, proposed by the specialists from KSC Tom Dreschel and Peter Chetirkin.

PRESS COMMENTS

NASA, PRESS KIT, November 1997, Space Shuttle Mission STS-87

"Of all resources available at this point in space exploration, plants are the only regenerative source of food for long-duration flight. Plants are also used for regeneration of oxygen, removal of carbon dioxide, and distillation of water by transpiration and condensation. It is critical to know how to grow plants in space in order to facilitate these human requirements. Also, in order to better understand the effects of gravity on living systems, microgravity offers scientists an environment where they can analyze plant growth and functions without the influence of gravity.

As part of the CUE experiment, primary objectives include comparing changes in ultrastructure, biochemical composition and func-

tion induced by the spaceflight environment on the photosynthetic apparatus of *Brassica rapa* seedlings at different stages of vegetative development. Specifically, the principal scientists seek to discover what, if any, developmental events during plant reproduction fail to function normally in the microgravity environment.

During the STS-87 mission, high school students in the United States and Ukraine will perform special plant biology science experiments. Students will have the opportunity to view interactive downlinks with an astronaut who will conduct the experiment in microgravity on board the Space Shuttle Columbia.

The educational component of CUE, Teachers and Students Investigating Plants in Space, known as CUE-TSIPS, will allow students in the United States and Ukraine to perform pollination of the *Brassica rapa* plant on the ground, and the STS-87 crew will perform the same experiments with plants on board the Shuttle. Comparison of Shuttle and classroom results will continue after the mission via the Internet".

*Ukraine Moloda
(18 November, 1997, N 212)*

"When the Small Academy of Sciences was connected up realization of the Education Program of the Collaborative Ukrainian Experiment on Biology at the suggestion of profes-

sor Elizabeth Kordyum from the Institute of Botany, we did not think that it will take on such range," vice-president Volodimir Nazarenko summarized at the great meeting on the occasion of departure to USA of the group of Ukrainian scholboys-investigators. On the whole, near 20.000 scholboys from Ukraine as many of persons of the same age from USA were get to this science and education program. Departure to USA of the group of Ukrainian was not only an attractive journey abroad and contact with coevals but the continuation of an interesting work, an exchange of experience and refreshment of knowledge".

The Ukrainian Weekly
(30 November, 1997)

"Leonid Kadenyuk and Ukraine's students become a part of history.

On December 1 at 6 a.m. Col. Kadenyuk will be hooked up by special down-link through a Ukrainian television station in Kyiv to all the CUE participant schools in Ukraine. This will be the first time Ukrainian astronaut is talking live from space with students from his own country. Thousands of students in Ukraine will be able to watch and interact during a short question and answer period with Col. Kadenyuk".

Fakty
(19 November, 1997, N 48)

"Some delegations will see off Kadenyuk. Secretary of the Council of National Security and Defence Vladimir. Gorbulin, general director of National Space Agency of Ukraine Alexander Negoda, president of the National Academy of Sciences of Ukraine Boris Paton, ambassador Yury Scherbak people's deputy Leonid Kravchuk, etc. are part of the official delegation".

Uryadovyi kur'er
(20 November, 1997, N 215—216)

"Kadenyuk overcame competitors as he has all necessary qualities: good health, professionalism, strong will in the selection and attainment of a goal, significant scientific and practical preparation for a work by a cosmonaut-specialist".

Uryadovyi kur'er
(22 November, 1997, N 217—218)

"President of Ukraine Leonid Kuchma, who was at Columbia launch, sent the letter to President of USA Bill Clinton. In the letter, he advanced the satisfaction on the occasion of the entered engagement in the space field began to be already realized in life. The participation of Ukrainian citizen in the space mission together with American astronauts is a striking evidence of it. Columbia flight became

a crown of the three-year work of US/Ukraine scientists and specialists. We are sure that the Program of joint experiments will be completely accomplished and world science will take else one step in space exploration, especially in space biology".

LEONID KADENYUK
AS THE PAYLOAD SPECIALIST

My personal impression about our Ukrainian Payload Specialist of STS-87 is the best. Leonid Kadenyuk is a graduating student of the Chernigov Higher Military Aviation College and Moscow Aviation Institute, an instructor-pilot, a test-pilot and space-pilot, and he was selected in the detachment of cosmonauts and passed all tests required by this profession. Usually, Kadenyuk's professional activity was far from that work which he has to do as cosmonaut-specialist during the STS-87th mission aboard space shuttle Columbia. But exactly during the training and holding this job in full measure features of character and personality of our cosmonaut revealed as a flight-tester and potential commander of "Buran", however the piloted flight of which was not performed, — discipline, respect for accepted rules and norms, responsibility, friendship, reliability, trustworthiness. During the first meeting with Leonid Kadenyuk I was very impressed

by his willingness to get acquainted not only with experiment's aims, but with its science base, that is with according issues of biology and ideas, determined in the basis of experiment. Leonid Kadenyuk listened to a list of lectures which were organized for him in the M.G. Kholodny Institute of Botany, and as well in the Institutes of Molecular Biology and Genetics, Institute of Plant Physiology and Genetics, and in the National Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine. After the course of lectures the practical lessons began, in first order Leonid Kadenyuk had to master the ability to determine the state of a stigma in order to pollinate it, gather pollen, easily carry enough quantity of pollen to the stigma, which in 1997 were continued in US universities and Kennedy Space Center. In the USA, Leonid Kadenyuk fully mastered the skills of working with devices in which the plants were grown, manipulating with them and with devices for chemical fixation and freezing the samples. I recall Leonid Kadenyuk calling me several times from United States in order to define more exactly some details which concerned the process of pollination the flowers because he was worried that the quantity of successfully pollinated flowers by him did not reach 100 %. As a result of thorough and perfect mastering of the theory and practice of plant biology, Leonid Kadenyuk brilliantly performed all tasks on orbit according to the protocol of the experiment. Thanks to that, scientists got perfect

material for further exploring in the laboratories of Ukraine and USA. All CUE participants deeply appreciate him. They obtained, very interesting new scientific information and original concepts and the hypotheses worked out on this basis made the important contributions to science. L. Kadenyuk, being on orbit at the time of a video transmission, also communicated with US and Ukrainian students, which was one of numerous participants of Educational Program. AT KSC, we had an opportunity to listen to this intercourse of Kadenyuk and we noted with satisfaction his pithy answers to on the students' questions and his good English. After returning to Kiev, Kadenyuk systematically takes part in the meetings devoted to CUE. My warm welcome with L. Kadenyuk continue now, I always feel his friendly attitude to me and hope not only to the continuation of our meetings but for the joint work in space biology and on the use of his talent as a cosmonaut in future space missions.

E. KORDYUM

1998

† CUE Working Group Meeting, *September*
The CUE Working Group Meeting was held in Kiev September 18—25, 1998. The purpose of the meeting was to present the scientific results from the first 9 months of analysis of

the data obtained from the STS-87 mission, to make plans for publication of the results in scientific journals and to discuss future collaborations between the Ukrainian and United States investigators. In attendance were 6 US investigators, support staff from the Kennedy Space Center, a representative for NASA Headquarters, the Ukrainian investigators and their research associates. The program for this meeting which was organized by Dr. Elizabeth Kordyum and her staff was a well balanced program of scientific presentations, group discussions and outstanding cultural events.

The scientific program featured multimedia presentations of the research findings to date in all laboratories in the Ukraine and United States. In general they indicated that the plant material they received was not only sufficient but of beautiful quality to permit them to meet their individual scientific objectives.

Splinter meetings were held to discuss the status of research of the individual experiments and future collaborations. These meetings established: protocols for publishing the results in scientific journals and preparation of final reports to NASA; future collaborations were discussed following a review of potential projects.

Interlaced throughout the science program were a variety of Ukrainian cultural events including tours, dinners, concerts and personal visits to the homes of Ukrainian colleagues. The hospitality and generosity of Ukrainian

hosts created the perfect atmosphere for exchange and learning.

The following reports from the Principal Investigators were based on the presentations and discussions for the conference in Kiev and would form the basis for the final reports due in December.

CUE PARTICIPANT'S REPORTS

Published in Science Milestones
(N 13, September/October, 1998)

B-STIC — Microgravity effects on pollination and fertilization

(Report prepared by Dr. Mary Musgrave)

Post-flight analyses of the flowers and siliques from the *Brassica rapa* plants grown on STS-87 have combined structural and functional assays of developmental processes. In-flight fixation allowed us to examine the stigmatic surfaces of the pistils 2–24 hours after pollination. Scanning electron micrographs of this material revealed that the transfer of pollen and pollen germination on the stigma proceeded normally in microgravity. Pollen viability assessed immediately post-flight using fluorescein diacetate staining was between 93–94 % in the spaceflight and ground control material. Further investigations of pollen struc-

ture will be carried out using transmission electron microscopy.

Dissections immediately post-flight showed that the number of developed seeds per silique was not significantly different between flight and ground control plants, although the total number of siliques was greater in the ground control. This may reflect the difficulty of performing hand-pollinations in weightlessness. Cytochemical localization of reserves in embryos showed that carbohydrates, protein, and lipid were being stored in an equivalent manner in the spaceflight and ground control material.

The duration of the shuttle flight did not permit the embryos to develop completely into dry seeds. By transferring several siliques to a tissue culture medium immediately post-flight, it was subsequently possible to dissect out the fresh embryos, culture them on a second medium until roots and leaves formed, and then grow them into plants in soil. Although the spaceflight embryos were delayed in growing to the stage when they could be transferred to soil, once they reached this stage, their development matched that of the ground controls. The offspring from these plants and those from the ground control were indistinguishable.

The results demonstrate that no step in the reproductive development of *Brassica rapa* is dependent upon gravity, and that given a suitably long-duration flight opportunity, seed-to-seed cycling would be possible.

B-PAC — Effects of altered gravity on the photosynthetic apparatus

(Reports prepared by Dr. James Guikema)

The photosynthesis process must play a crucial role in a closed renewable life support systems during long space flight missions, for food, atmosphere, and water regeneration. Space missions in the past have provided tantalizing, albeit often anecdotal, glimpses of the effects of microgravity on cellular morphology and cell division and elongation, and how these effects may impact photosynthetic physiology. At present there are only few data concerning structure and functioning the photosynthetic apparatus, and they are often contradictory. These few data formed the rationale for the CUE B-PAC experiment, and resulted in a spaceflight experiment in which a number of plant growth parameters were monitored.

Preliminary experiments explored the design and configuration of rooting substratum, nutrient demands by the plants, temperature optima, etc., to assure optimal plant growth. The rooting zone and nutrient delivery system that was deployed on the STS-87 mission consisted of the following. First, a base of florist's foam provided structural support for the plants. The foam was cut such that it snugly fit into the base of the PGC. The foam could then act as a fluid reservoir, and we determined that



Hoagland's solution (full strength) was an appropriate nutrient source. Second, some grooves were cut into the phenolic foams. These grooves served two important functions. On one hand, they provided spaces in which to place plant growth envelopes. On the other hand, there was enough air space surrounding the envelopes to ensure that the root zone was not anaerobic. Third, a plant growth envelope was constructed of non-cellulose film, to which seeds were attached. The non-cellulose construction avoided the use of a substrate that could support microbial growth, and it should be noted that plants that were obtained in CUE after STS-87 landing were not overburdened by either fungal or bacterial contaminants. The use of the envelope also added in the harvesting of the root tissue on orbit. The envelope was a container that could be easily removed and manipulated for either freezing or fixing. Preliminary experiments also optimized procedures (electrophoresis, Western blot analysis, fluorescence kinetic assessments, etc.) which were developed on other species for *Brassica*.

This system was then used to fly *Brassica rapa* during a 15 d mission on STS-87. The in-flight operations were orchestrated by Colonel Leonid Kadenyuk, first-time shuttle astronaut from Ukraine. Seeds were watered on orbit, and plants were harvested at 7 and 9 days (both fixed and frozen) and at 15 days (fresh within 2 hours of STS landing on Dec. 5, 1997).

Kansas State University post-flight research has focused on cotyledon tissue, which was harvested at KSC and frozen for transport to the KSU campus.

Tissue from the Plant Growth Facility was harvested, and was distributed to the CUE/P-PAC team as defined by the tissue allocation plan devised (tissue sharing) during SVT and PVT. This included distribution of materials to B-STIC (buds and flowers — the numbers and stage of these is consistent with the notion of accelerated development under the STS-87 conditions); to AMINO, PHYTO and LIPID (secondary leaves and stem materials); and ROOTS (all below-ground tissue). Fresh leaf materials were provided to the B-PAC team headed by Dr. Svetlana Kochubey. Cotyledon tissue was harvested, frozen, and taken to Kansas State University for analysis.

Plant growth information was obtained from photographs taken on orbit. In general, space flight plants grew taller (values were significant in measurements later in the flight), with slightly less percent of germination. Western blot assessment of thylakoids prepared from cotyledon tissues suggest: 1) both Photosystem 1 (PS1) and Photosystem 2 (PS2) chlorophyll complexes were reduced in space flight samples, 2) photochemical activities of PS1 were similarly, 3) a reduction in structural protein is not accompanied by an increase in protein fragments within the membrane, which might occur if microgravity caused a stress-induce

degradation of existing proteins, 4) other membrane proteins, notably the beta-subunit of the chloroplast coupling factor ATP synthase, were found in higher concentrations in the thylakoids obtained from spaceflight samples.

There are two possible interpretations of the preliminary data which we obtained on this mission. First, it is possible that some feature of the spaceflight environment is stressful to the plants. Although it is attractive to think that microgravity-induced changes in fluid dynamics could result in hypoxia in the root zone, concomitant experiments by the ROOTS investigators showed little increase in the proteins which are upregulated during water-related anaerobiosis. Rather, some data presented by colleagues suggested that the stress may be water deprivation. Second, it is possible that some feature of the space environment may cause a down-regulation of the synthesis of the photosynthetic apparatus, with a more dramatic effect on Photosystem 1. For example, several groups have observed an altered carbohydrate partitioning in space-grown plants. It is becoming increasingly clear that the genes for photosynthetic proteins are under the control of regulation at the level of carbohydrate content. It is not known the levels to which Photosystems 1 and 2 may be differentially regulated. It is very apparent that our data is intriguing and raises questions that have both fundamental importance and relevance to applied studies on space-based methods for

bioregenerative and controlled environmental life support.

B-PAC — Fluorescence and photochemical activity of *Brassica rapa* leaves

(Report prepared by Dr. Svrtlana Kochubey)

In the CUE experiment my team performed measurements of the following characteristics: 1) Induction fluorescence of leaves, 2) Low temperature fluorescence spectra of chloroplasts, 3) Low temperature spectra of fluorescence emitted by PSI and PS2, 4) Absorption spectra of chloroplasts at room temperature, 5) Photochemical activity of PS 2 by monitoring of O₂ evolution in presence of artificial electron acceptor, 6) Photochemical activity of PS1 by monitoring of O₂ uptake in the presence of artificial electron donor and acceptor.

Most of the results were obtained with 15-day old plants. The following conclusions were drawn: 1) Photosynthetic apparatus in the 1st tier leaves of 15-day old *Brassica rapa* plants displays some difflactions from normal state, 2) The diflaxion, caused by distortions in PS1 complex, is primarily in the near surroundings of reaction centers and possibly in other sites of electron transport chain, 3) It is possible that amount of LHCII decreases under the influence of microgravity, and 4) Organization and functional activity of PS2 is slightly influenced by microgravity.

B-PAC — Structural organization of leaves and mesophyll cells in *Brassica rapa*

(Report prepared by Dr. Nadiya Adamchuk)

Structural organization of leaves and mesophyll cells of 6- and 13-day old *B. rapa* plants fixed post-flight and 9- and 15-day old plants fixed in-flight was examined using methods: of light and electron microscopy, and morphometry.

Comparative analysis of morphological characteristics of leaf mesophyll in 13- and 15-day old *Brassica rapa* plants grown in the ground control and in space flight showed significant increases in palisade mesophyll cell size, chloroplast size and number in spaceflight samples while a leaf thickness remained unchanged. A quantitative evaluation of ultrastructural characteristics revealed that the relative partial volumes of thylakoids and plastoglobuli in the chloroplast stroma were greater in all plants grown in microgravity. An increase of thylakoids in a granum and starch grain size were determined for the 13- and 15-day old experimental plants. The overall length of the photosynthetic membranes in subepidermal palisade chloroplasts increased in the 6- and 9-day old experimental plants. The length of stromal thylakoids increased while the thylakoid length in a granum remained unchanged. Although the length of stromal thylakoids significantly increased, the number of grana

decreased in the experimental plants. In addition, the majority of these grana contained thylakoids of a different length. The spaces between thylakoids were greater in the ground control plants.

AMINO — Effect of microgravity on the amino acid content in *Brassica rapa*

(Report prepared by Dr. Tetyana Cherevchenko)

As a result of the investigation it was shown that the free amino acid general content in aboveground organs (leaves and stems) was increased in comparison with the ground control in 1.4-2.1 times. The most differences in the amino acid content were observed in 15- and 28-day old plants. The concentration of aspartic acid, threonine, serine, glutamic acid, alanine and valine increased appreciably in leaves of 15th days plants under microgravity conditions. At the same time, the increasing content of proline, aspartic acid, threonine, serine and arginine was revealed in stems. The lysine and arginine concentration sharp increase was established in leaves and stems of the 28-day old spaceflight plants. The free arginine content increased in *Brassica rapa* leaves of 5.5 times, and in stems of 25.6 times. The analysis of the qualitative and quantitative amino acid content in microgravity revealed the increase of aspartic acid of 21 times in



Brassica rapa leaves of 15-day old plants and the lowering of aspartic acid concentration of 8.5 times in stems of 28-day old plants. These facts indicate plant aging and changes in nitrogen metabolism. It may be that accumulation of free amino acids, especially proline, in above-ground organs of *Brassica rapa* in microgravity is an adaptive reaction of plants under going water stress.

PHYTO — Effect of microgravity on the phytohormonal complex in *Brassica rapa*

(Report prepared by Dr. Ludmila Musatenko)

The studies of phytohormonal complex of *Brassica rapa* plants have shown that IAA levels in underground parts of plants grown 9 days on Earth and in microgravity were almost similar. The ABA content in flight samples was higher than in the ground control, which may be explained by its physiological function as a stress phytohormone. A comparative analysis of HPLC — chromatograms of experimental and control plants was used to establish the presence of benzylaminopurine riboside, isopentenyladenine and isopentenyladenosine. It was also found that riboside zeatin, which controls the total cytokinin content in plants, was considerably higher in plants grown in microgravity than in the ground control. Riboside and glucoside derivatives were detect-

ed in trace amounts. The obtained data allow to suggest that the redistribution of various forms of growth substances occurs in microgravity rather than changes in their synthesis or catabolism.

ROOTS — Structural organization of main and lateral root apices, especially caps, of *Brassica rapa* in microgravity

(Report prepared by Dr. Elizabeth Kordyum)

A review of literature data on growth, size, mitotic activity, histogenesis, cell differentiation and structure-function organization in main and lateral root apices in microgravity has been done. On the basis of this analysis, the main goal of the present study was defined: 1) to elucidate the processes of cell differentiation and function in a root cap as a graviperceptive organ at the different stages of *Brassica rapa* plant development in space flight and in the ground control. Plants were harvested at 6, 13 and 15 days after planting. The 6- and 13-day old plants were fixed on orbit, the 15-day old plants were fixed after landing and then all plants were examined by transmission electron microscopy. Twisting of the lateral roots of the 1st order in microgravity were observed. In this report, focus was done on the tips of both primary and lateral roots, examining meristematic cells, differentiating statocytes, statocytes,

and secretory cells of a root cap. Most of the characteristics of these cells were similar to the relevant ground control tissue, including the size, shape, and position of nuclei and the structure of the chromatin within the nuclei. Some differences were observed in the ultrastructural organization. However, space-grown statocytes were characterized by a distribution of amyloplasts throughout the cell, decreased starch content in amyloplasts, and a localization of smooth and branched endoplasmic reticulum membranes on the distal side. Space-grown secretory cells were more vacuolated, showed a lowered Golgi content and the changes in the dictyosome structure, suggesting a reduction in mucilage production. Space-grown rhizodermal cells also showed an increase in the vacuole volume, and a decrease in the volume of local enlargements of granular endoplasmic reticulum cisterns with a protein content. Thus, root morphogenesis and cell differentiation occur normally in microgravity which results in plant growth, flowering and fruiting in the 1st generation in microgravity. Statocytes as graviperceptive cells are differentiated in the caps of main and lateral roots in microgravity but are not functioning in the absence of a gravitational vector. It is possible that microgravity-induced changes in carbohydrate metabolism which may impact protein biosynthesis and cause the alterations in the ultrastructure of root cap and rhizoderma cells that were observed.

ROOTS — DNA content in *Brassica rapa* root different growth zones in microgravity

(Report prepared by Mr. Victor Zaslavsky)

Root apices of 9- and 15-day old *Brassica rapa* plants were fixed with Carnoy mixture after landing, stained by the Feulgen reaction, and the DNA content was determined with the one-wave cytophotometric method (wavelength 502 nm). For every root growth zone-meristem, elongation and differentiation, 100 cells were examined in each of 6 experimental and 6 ground control roots (1200 total) and the data were treated statistically. On the basis of the experimental data analysis, the following conclusions can be drawn: 1) The DNA content in the cells of different growth zones of the lateral roots of the first order in 9- and 15-day old plants in microgravity and in the ground control varied in the limits from 3.15—0.12 rel. units — 2C till 6.3—0.18 rel. units — 4C, including the intermediate values that corresponds the normal movement of cells on different phases of the cell cycle, 2) The same proliferation level was noted in the root meristematic cells in microgravity and in the ground control; it was insignificantly lowered in 15-day old plants, 3) An increase of the cell population with 4C in the root elongation and differentiation zones with the maximum in the latter was observed in the ground control — 30 % of cells in the elongation zone, 40 % of cells in the differen-

tiation zone, and in microgravity 40 % and 50 % correspondingly that indicates the higher level of somatic polyploidy in microgravity. Thus, the cell cycle is realized in microgravity similar to the ground controls. The increased number of polyploid cells in the root elongation and differentiation zones can be evidence on strengthening of plant resistance in microgravity by gene doubling and the changes in the nucleus-cytoplasmic relations.

SOYMET — The interaction of microgravity and ethylene on soybean growth and metabolism

(Report prepared by Dr. Christopher Brown)

Space-grown plants exhibit alterations in growth, metabolism and ultrastructure. A consistent finding has been that ethylene levels are higher in space-grown plants relative to the ground controls. Therefore, the hypothesis tested in this experiment was that alterations in growth, metabolism and ultrastructure in space-grown plants are due to increased ethylene production.

The SOYMET experiment utilized etiolated soybean (*Glycine max* cv. McCall) seedlings, which were grown in the Biological Research Canister (BRIC) hardware. Half the BRICs contained KMnO_4 to remove ethylene from the atmosphere and the other half did not. Dry seeds were launched and then watered in space.

Periodic samples of gas from the BRICs were taken during the mission. Some BRICs were frozen on-orbit and some returned to earth unfrozen. Post-flight analysis of gas composition, seedling growth, cotyledon carbohydrate metabolism, calcium localization and ultrastructure as well as root ultrastructure were performed.

On a canister basis, ethylene concentrations were twice as high from space as compared to the ground controls. Although KMnO_4 reduced the levels of ethylene in the canisters, the efficacy of removal was less in space than on the ground.

Overall seedling growth was less than expected based on previous spaceflight and ground studies. However, in comparison with the ground controls, total seedling fresh weight was lower in the flight plants regardless of the levels of ethylene. Also, the hypocotyl/root ratio was less in space when ethylene was present but was not different when ethylene was absent. The concentration of sucrose was 2 times higher in cotyledons from the flight plants relative to the ground controls. There were no differences in the concentrations of starch, hexose sugars, protein or lipid.

Cotyledon epidermal mesophyll cells were larger in the presence of high ethylene but were not influenced by microgravity per se. Protein bodies were present in the vacuole and appeared to be lysed in the space-grown plants more so than in the ground controls



regardless of the level of ethylene. Hypocotyl epidermal cell size and organelle structure were not influenced by spaceflight or ethylene levels. In the root, spaceflight plants exhibited enhanced vacuolization in the statocytes, meristematic, secretory and elongation-region cells compared to the ground controls. Plastids in the statocytes of root cap cells exhibited a decrease in size, starch grain volume and an apparent enhancement of phytoferritin levels.

Calcium levels in the hyaloplasm of parenchyma cells of the hypocotyl appeared to be more sensitive to ethylene levels (high ethylene gave rise to high calcium) than to space flight. However, in cotyledon mesophyll cells the quantity of calcium appeared to be lower in the plants exposed to space flight compared to the ground controls.

A variety of growth and metabolic parameters in soybean seedlings were measured in an effort to determine if spaceflight-induced changes were due to increased ethylene levels. Of the parameters reported above, only the hypocotyl/root ratio and the cotyledon epidermal cell size were sensitive to ethylene regardless of gravity conditions. Other parameters (total growth, carbohydrate concentrations, the presence of protein bodies in the vacuole of cotyledon mesophyll cells, vacuolization in the root cap cells, plastid size and starch grain volume in root cap cells and phytoferritin levels) were influenced by the spaceflight environment but appeared to be unaffected by eth-

ylene levels. Therefore, at this time it is possible to say that while spaceflight-induced increases in ethylene are playing a role in soybean growth and metabolism, there are other factors not related to ethylene which are involved and require further investigation.

SOYMET — Calcium localization in cotyledons and hypocotyls of soybean seedlings grown in microgravit and in the ground control

(Report prepared by Dr. Olena Nedukha)

The influence of microgravity on redistribution and the relative content of free and weakly bounded calcium in different cells of the hypocotyl and cotyledons in soybean seedlings were established in SOYMET experiment. The localization of Ca^{2+} was studied by an electron-cytochemical pyroantimonate method in different cells of hypocotyl hooks and cotyledons in 6-day old seedlings grown in the presence of ethylene or without it. The relative content of Ca^{2+} in the hyaloplasm of parenchyma cells of a hypocotyl hook was higher in the presence of ethylene than in its absence. In addition, a rate of storage protein utilization by seedlings increased in microgravity: in the presence and in the absence of ethylene, storage proteins in vacuoles of cotyledon mesophyll cells were lysed completely. A decrease in the quantity of precipitate granules in the

cell vacuoles and into intercellular spaces of seedlings grown in microgravity compared to the ground control was shown.

SOYMET — Ultrastructural organization and calcium localization in root apex cells of soybean seedlings grown in microgravity and in the ground control

(Report prepared by Dr. Dmytro Klymchuk)

It was shown that the growth rate of seedling roots in microgravity was reduced compared with the ground control. Electron microscopy of longitudinal sections revealed that spaceflight root cells of meristem, columella, secretory and elongation zones in the presence and in the absence of ethylene were more vacuolated than in the ground control. The root cap statocytes of spaceflight seedlings exhibited the absence of structural polarity, i.e. amyloplasts did not sediment on the distal part of a cell but predominantly concentrated in the cell center. The statocytes of soybean seedlings grown in microgravity in the presence or the absence of ethylene also exhibited reduced volume of both amyloplasts and starch grains per organelle in comparison with the controls. Spaceflight samples revealed increased phytoferritin content in plastids' stroma that suggests changes in the iron metabolic pathways in soybean seedlings as well. The pyroantimonate reaction, used to determine calcium concen-

tration and localization, showed that there were few deposits in meristematic cells and essentially more in columella and secretory cells in both spaceflight and control samples. In statocytes, the product of pyroantimonate reaction was seen in all cellular compartments but the size of deposits in different cellular compartments varied.

SOYPAT — Effects of microgravity on the relationship between pathogenesis and cellular carbohydrate content in plant tissues of soybean

(Report prepared by Ms. Marietta Ryba-White)

Extended life in space will require continuous food production. Continuous crop production in contained systems and the negative effects of microgravity on plant growth will increase the potential for disease. To evaluate the effects of spaceflight on the susceptibility and resistance of plants to pathogens, soybean seedlings infected with *Phytophthora sojae*, a root rot pathogen, were grown aboard the space shuttle. To quantify the effects of microgravity on plant susceptibility to invasion by a pathogen, we measured: 1) macroscopic changes, 2) root length, 3) number of lateral roots, and 4) disease symptom expression

The *Phytophthora sojae* inoculum was injected into the base of autoclaved growth pouches through plastic tubing prior to launch. These

pouches were designed with sealed channels to guide root growth toward the fungus in microgravity. The pouches allow for easy evaluation of root growth and symptom expression. The experiment was conducted in the BRIC hardware. Soybean seedlings (cultivar Williams 82) were untreated, or were treated with either *P. sojae* isolate #B77R1-55-16 (RI incompatible) or #B8R5-81-12 (R25 compatible). The experiment included four replications per treatment. Seedlings were fixed in microgravity at 4, 7 & 8 days after planting, i.e. flight days 3, 6 & 7, using the KSC fixation tubes.

The soybean seedlings exhibited more disease symptoms in microgravity than at unit gravity. Seven days after launch, *P. sojae* R25 inoculated plants showed significantly less healthy tissue indicating they were more heavily infected. RI inoculated plants showed more healthy tissue in space flight compared to the ground controls. *P. sojae* R25 more extensively colonized spaceflight-grown tissue than ground-grown tissue. Light microscopy studies revealed that, in susceptible interactions, the root hair zone was most heavily colonized by the fungus. While in ground-grown tissue, the fungus colonized predominantly the epidermal layer, in spaceflight tissues, the fungus penetrated into the stele. More haustoria were observed in spaceflight- than in ground-grown tissue. The appearance of the haustoria, hyphae and oospores did not differ between the two locations. Oospores were observed in susceptible

interactions in both spaceflight- and ground-grown infected tissues. No oospores have been observed in tissues undergoing an incompatible interaction.

Conclusions: 1) Spaceflight grown soybean seedlings are more susceptible to *P. sojae* than ground-grown seedlings, 2) Infected roots grown in space flight exhibit more disease symptoms than ground-grown plants, and 3) The pathogen penetrated the spaceflight-grown roots more extensively than the ground-grown roots.

SOYPAT — Effects of microgravity on susceptibility of 6-day old soybean seedling to *Phytophthora sojae*

(Report prepared by Dr. Olena Nedukha)

Seedlings of soybean cultivar Williams 82 were untreated or were inoculated with race 25 (R25) and race 1 (RI) isolates of *Phytophthora sojae*, which result in compatible and incompatible interactions, respectively. Seven days after planting (the seventh flight day), the seedlings were fixed in microgravity. The flight-grown roots, infected with R25, showed more disease (% brown and macerated areas) relative to the ground-grown roots infected with R25. RI-treated roots showed less symptoms in flight than ground samples. It was shown by light microscopy that soybean seedlings was more extensively colonized by R25 in flight than in



the ground controls. It was established that the zone of root hairs was more susceptible to the fungus penetration in comparison with other root zones. The ultrastructural study of root zones in control and flight samples have shown the preservation of all cell structures of both plant-host cells and fungus cells. These results indicate that fixation on orbit was excellent.

The results allowed to conclude that, soybeans grown in microgravity in compatible interactions are more susceptible to colonization by a fungus pathogen relative to ground controls.

GENEX — Spaceflight effects on gene expression in soybean tissue

(Report prepared by Dr. William Piastuch)

Although previous Shuttle middeck experiments from our laboratory (STS-68, STS-63) have shown differences in etiolated soybean seedling growth, morphology, carbohydrate concentrations and enzyme activities in flight-grown tissues, an overriding factor in these experiments was the presence of significantly higher levels of ethylene in the flight growth containers measured post-flight. During the GENEX experiment, use of modified protocols resulted in: a) equivalent levels of ethylene for flight and ground controls (as measured by gas sampling after 5 days on-orbit growth and post-flight), b) elimination of previously encoun-

tered mechanical shearing and seedling contact with metal and wet surfaces, and c) complete recovery of intact tissues.

A total of 192 seeds of soybean (*Glycine max* cv. McCall) were imbibed and grown in darkness for six days in BRIC hardware. The GENEX tissue at the end of six days in the spaceflight environment was of excellent quality with very uniform growth, no contamination, and a high germination rate (96 % germination in flight seeds and 98 % germination for ground control seeds). Gas measurements of the internal canister atmospheres both inflight and post-flight showed high but equivalent concentrations of ethylene and CO₂; as found in the ground controls. This is significant as it is the first occasion in which ethylene was not found to be higher in the flight samples with etiolated soybeans. This should allow a more direct comparison of flight and ground samples. The hypothesis for the equivalent gas concentrations is the placement of the flight canisters in the open middeck (with forced air and crew movements), allowing gas exchange between the canisters and ambient cabin air that more closely mimics the ground controls with gravity convection.

HPLC has indicated concentration changes in several secondary metabolites in the cotyledon, hypocotyl and root tissues. Analysis of isoflavonoid biosynthesis indicates that total isoflavonoid concentrations were significantly reduced in cotyledon tissues of the flight plants when compared to ground controls. However,

both flight hypocotyl and root tissues exhibited higher total isoflavonoid concentrations indicating a possible change in distribution of isoflavonoids in seedlings grown in the spaceflight environment.

Morphological characteristics including fresh weight, root and shoot lengths, and the degree of lateral root branching were significantly different between flight and ground tissues with greater lateral root numbers and length found in the flight tissue. The spaceflight seedling roots had a significantly higher fresh mass than the ground control root tissue due to the increased formation of lateral roots and greater primary root length.

Carbohydrate analysis showed altered partitioning and concentrations in the flight tissues with substantial starch differences in elongated hypocotyl tissue. The finding of more starch in the flight cotyledon and hypocotyl tissues was very different from previous experiments. Microscopic examination has confirmed that starch deposition is significantly greater in spaceflight hypocotyl tissues than ground controls. It was also possible to demonstrate the intracellular localization of amyloplasts, with ground controls showing strong sedimentation along the gravity vector. Spaceflight samples showed random amyloplast distribution around the cell.

Total RNA has been extracted from representative tissues from flight and ground controls. Initial Northern and dot blot analysis were

performed. Dot-blot hybridization of membrane-bound RNA samples with specific digoxigenin-labeled DNA probes revealed the presence of mRNAs for various stress-related genes in the cells of plants subjected to microgravity. Initial observations showed elevated concentrations of mRNAs for heat-shock-like genes in the cotyledon and hypocotyl tissues of soybean seedlings grown in flight compared to the ground control. Changes were also seen for gene products involved in secondary metabolite production. These regulatory genes appear to be upregulated during the spaceflight experiment. These results indicate the spaceflight environmental conditions may be perceived by plant tissues as an external stress causing the elevated production of proteins able to protect important cell structures from damages.

SPAM-A — Differentiation and tropisms in space-grown moss *Ceratodon*

(Report prepared by Dr. Fred Sack)

Apical cells of the moss *Ceratodon* protonemata are tip-growing cells that exhibit both negative gravitropism and positive phototropism. Amyloplast sedimentation probably functions in g-sensing but the distribution of sedimentation is complex. The goals of SPM-A were to determine whether in microgravity (1) phototropism and gravitropism interact at low light intensities, (2) differentiation is normal, (3) growth

in the dark is random, and (4) amyloplast distribution is random.

Differentiation appears normal in microgravity. Higher intensities of red light suppress gravitropism, and the fidelity and kinetics of phototropism were comparable to ground-control samples. Ground based studies have not been able to distinguish whether at low intensity light gravitropism and phototropism interact or whether light modulates gravitropism. Because some phototropism was found in flight, it is likely that a weak interaction of tropisms takes place.

Surprisingly neither the orientation of tip-growth nor the distribution of amyloplasts was random. In cultures grown in the dark in flight for 14 days, the protonemal tips grew in clear clockwise spirals. Also, amyloplasts were clustered close to the apex of the cells. Both of these non-random distributions suggest that gravity normally overcomes default tendencies such as internal mechanical forces acting on plastids.

SPAM-B — Gravity in moss growth and morphogenesis

(Report prepared by Dr. Orest Demkiv)

Experiments carried out on Russian Biosatellite Bion-11 and US Space Shuttle "Columbia" have convincingly proved the *Ceratodon* spiral protonemal structures were formed in dark-

ness in microgravity. *Pottia protonemata* is negatively gravitropic in darkness at 1 g while in microgravity, it grows in different directions, with many protonemal filaments growing at various angles to the substrate surface. *Pottia protonemata* grows in darkness much slower than *Ceratodon*. Protonemata grown in darkness for 7 days reacts sharply to red light. Under low ($0.2 \text{ mmol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) and middle ($0.9 \text{ mmol s}^{-1} \text{ m}^{-2}$) intensities, protonemata grows positively phototropic. Protonemata grown for 7 days in microgravity reacted to red light in an analogous manner. Mechanisms of a spiral growth are yet not clear. We think that such mechanisms are related to organization of protonemata growth, its location, and polarity, cytoskeleton organization, and cellulose microfibril arrangement, i.e. the spiral growth to be an endogenously controlled process not dependent on the presence of exogenous stimuli.

SPM-B — Effects of microgravity on protonema apical cells

(Report prepared by Dr. Christina Chaban)

Negative gravitropism in moss protonemata was established and analyzed in detail for several species, *Pottia* among them. The mechanism of gravity perception was explained through the starch statolith theory, i.e. by amyloplast sedimentation in a protonemal apical cell responding to changes of g-vector direc-



tion. Comparatively less is known about growth of protonemata under simulated (clinorotation) or true microgravity conditions. In the CUE experiment, for the first time, it was possible to analyze the growth of moss protonemata in the absence of external stimuli such as light or gravity. A specially designed system of on orbit protonemal fixation allow us the analysis of fine structure of protonemal apical cells in *Pottia* protonemata.

At 1 g, dark-grown *Pottia* protonemata formed bands of parallel vertical filaments, which were almost straight. During the space shuttle experiment and under clinorotation, filaments originating from the center grew in different directions. The measurements of filament tip positions showed the random protonema distribution. The prolongation of clinorotation to 14 d and up to 21 d caused increasing protonema bending.

Plastid distribution in apical protonemal cells is more or less stable during interphase. The plastid zonation and sedimentation is clearly observed in time-lapse images of vertically growing apical protonemal cells. During cell growth, the plastids of subapical and intermediate zones usually were maintained in the same position relatively to the growing tip unless the cell was in process of division. They moved very slightly in oscillation-like manner. Sometimes, very small plastids could be present in the apical dome, which usually is free of amyloplasts. A nucleus was also maintained at a

fixed distance from cell tip and migrated forward with cell expansion. The process of cell division did not influence vertically growing protonemata but affected protonemal gravitropic bending. So called post mitotic reversals (temporary downward bends) were visible in most cases just after cell division was completed and new nucleus occupied its fixed position. These events give arguments in favor of correlation between amyloplasts-nuclear relationships and protonemal growth pattern. It cannot be excluded that this correlation plays a role in protonemal behavior in microgravity and under clinorotation.

SHORT SUMMARIES OF AMERICAN PRINCIPAL INVESTIGATORS

US and Ukrainian Colleagues met in late September 1998 at the Institute of Botany in Kiev. We considered both the science and the educational components of this vital project, and we noted several interesting conclusions. These included: surprising, unexpected spiral growth patterns in space-grown moss; elevated ADH levels in space-grown roots; correct reproduction of plants in space; an enhanced pathogenic responses between soybean and fungus in space; carbohydrate partitioning favoring soluble sugars in space-grown soybean,

and lowered activities of the photosynthetic apparatus.

One conclusion was that the collaborations between scientists and educators of these two nations must continue. We recommended this to the Space Agencies of both nations. The participants committed their efforts to make this happen.

For the US delegation: signatures

Fred SACK, Christopher BROWN, William PIASTUCH



We saw a parallel reduction in PS1 activity and in PS1 proteins. There are two possibilities by which this could occur. First, space flight may be stressful to existing proteins, causing destruction of existing proteins. We would expect to see protein damage — to see protein breakdown products by PAGE (protein electrophoresis). We do not.

Second, space flight may cause developmental effects, limiting the synthesis of PS1 proteins.

I favor option 2.

James GUIKEMA



EDUCATIONAL PROGRAM

In April, 1998, the regular workshop of the Educational Program was carried out. Within the Educational Program in the State Ecological-Naturalistic Center there were held 6 workshops, where 42 responsible executors participated from 25 regions of Ukraine. One of the workshops was held personally by Paul Williams with the assistance of Thomas Dreschell and Peter Chetirkin. Totally to the Educational Program there were attracted nearly 20 thousands of executives from 24 territorial sections of the Junior Academy of Sciences. The Ukrainian State Ecological-Naturalistic Center became the main base for realization of workshops (director Volodimir Verbizky). A.V. Palladin Institute of Biochemistry functioned as the informational center of communication and operative monitoring.

CUE is unforgettable in my life with the nature beauty, union of palms and pines, sounds of the ocean, numerous armadillos, which feel themselves as in home, and harmony of nature with technology, the excellent organization of all CUE operations, that gave to scientists, especially Ukrainian scientists, splendid scope to work with great effectiveness during CUE period, kindness and hospitality of all our US colleagues, which I can indeed call my friends.

Elizabeth KORDYUM

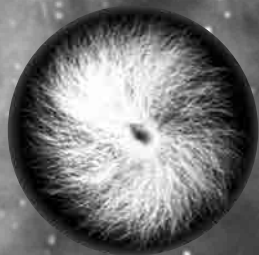
To the great credit of CUE, an enormous amount of work was accomplished and accomplished with great care and exactitude. This book makes these points clearly and show how very well the Ukrainian and American investigators did, indeed, cooperate at all levels in spite of the obvious distance, logistical and some few language problems. The manuscript is very complete: it is well balanced; it emphasizes the right points in the various topics; it includes excellent illustrative materials together with photographs; and, finally among the excellent features of the description of the CUE project, is the recognition of every Principal Investigator, their teams, and detailed descriptive analysis of the purposes and results of each experiment.

The COLLABORATIVE, UKRAINE'UNITED STATES, EXPERIMENT or CUE is recognized as a success from the moment of inception until the time the last paper is to be published. This book captures the success, the significance and the beauty of the CUE project.

Tom SCOTT

ЛІТЕРАТУРА

REFERENCES



- Abiiiov, Z.K. 1986.** Adaptative, physiological and morphological changes in chloroplasts of plants different periods of time cultivated at "Salyut-7" station. 26th *COSPAR Plenary Meet.*, Toulouse, France, p. 301.
- Aliyev, A.A., X.K. Abiiiov, A.L. Mashinsxiy et al. 1987.** The ultrastructure and characteristics of the photosynthesis system of shoots of garden pea grown for 29 days on the "Salyut-7" space station. *USSR Space Life Sciences Digest* **10**: 15—16 [Rus].
- Antonjan, A.A., G.I. Meleshko, M.A. Levinskikh et al. 1992.** Metabolism of unicellular algae in space. In: *Results of Investigations on Biosatellites* (O.G. Gazenko, Ed.), pp.387—391. Nauka, Moscow. [Rus].
- Apel, K. and K. Klaus. 1978.** The plastid membranes of barley. Light induced appearance of mRNA coding for the apoprotein of the light-harvesting chlorophyll a/b protein. *Europ. J. Biochemistry* **85**: 581—588.
- Brown, A.H., A.O. Dahl, and D.K. Chapman. 1976.** Morphology of *Arabidopsis* grown under chronic centrifugation and on the clinostat. *Plant Physiol.* **57**: 358—364.
- Brown, C.S. and S.C. Huber. 1988.** Reserve mobilization and starch formation in soybean (*Glycine max*) cotyledons in relation to seedling growth. *Physiol. Plantarum* **72**: 518—524.
- Brown, C.S. and W.C. Piastuch. 1994.** Starch metabolism in germinating soybean cotyledons is sensitive to clinorotation and centrifugation. *Plant Cell Environ.* **17**: 341—344.
- Brown, C.S, E.M. Hilaire, J.A. Guikema et al. 1995.** Soybean seedling growth, ultrastructure, and carbohydrate metabolism in microgravity. *Plant Physiol.* **108**: 31.
- Brown, C.S. and S.C. Huber. 1987.** Photosynthesis, reserve mobilization and enzymes of sucrose metabolism in soybean (*Glycine max*) cotyledons. *Physiol. Plantarum* **70**: 537—543.
- Brown, C.S., B.C. Tripathy, and G.W. Stutte. 1996.** Photosynthesis and carbohydrate metabolism in microgravity. In: *Plants in Space Biology* (H. Suge, and H. Takahashi Eds.). Tohoku Univ. Press, Sendai, Japan (in press).
- Chaban, C.I. 1992.** Growth and structure of *Pottia intermedia* adventive protonema apical cell under clinostating. *World Space Congress*, Washington DC, p. 539.
- Cherevchenko, T.M., T.K. Maiko, V.B. Bogatir, and I.V. Kosakovskaya. 1986.** Prospects of utilization of tropical orchids for space investigations. In: *Space Biology and Biotechnology*, pp. 41—54. Naukova dumka, Kiev. [Rus.]
- Classen, D.E. and B.S. Spooner. 1994.** Impact of altered gravity on aspects of cell biology. *Intern. Rev. Cytol.* **156**: 301—373.
- Cogoli, A., A. Tschopp, and P. Fuchs-Bislin. 1984.** Cell sensitivity to gravity. *Science* **225**: 228—230.
- Cowles, J.R., R. Lamay, and D. Johns. 1988.** Microgravity effects on plant growth and lignification. *Astrophys. Lett. Commun.* **27**: 2233—2238.

- Cowles, J.R., R. Lamay, G. Jahns et al. 1989.** Lignification in young plant seedlings grown on earth and aboard the space shuttle. In: *Plant Cell Wall Polymers: Biogenesis & Biodegradation* (N.G. Lewis and M.G. Paice Eds.). Amer. Chem. Soc., Washington, DC.
- Cowles, J.R., H.W. Scheld, R. Lamay, and C. Peterson. 1984.** Growth and lignification in seedlings exposed to eight days of microgravity. *Ann. Bot.* **54** (suppl.3): 33—48.
- Dauwalder, M., S.J. Roux, and L.K. Rabenberg. 1985.** Cellular and subcellular localization of calcium in gravistimulated corn roots. *Protoplasma* **129**: 137—148.
- Deisenhofer, J., O. Epp, K. Miki et al. 1985.** Structure of the protein subunits in the photosynthetic reaction center of *Rhodospseudomonas viridis* at 3 Å resolution. *Nature* **318**: 618—624.
- Demkiv, O.T., E.L. Kordyum, Ya.D. Khorkavtsiv, and C.I. Chaban. 1995.** Temporal blocking of gravistimulus perception by the red light in the protonema cells of *Ceratodon purpureus* (Hedv.) Brid. *Adv. Space Res.* (in press).
- Dutcher, F.R., E.L. Hess, and T.W. Halstead. 1994.** Progress in plant research in space. *Adv. Space Res.* **14**: 159—171.
- Ebel, J. 1986.** Phytoalexin synthesis: The biochemical analysis of the induction process. *Ann. Rev. Phytopathol.* **24**: 235—264.
- Evans, M.L., L.M. Young, and K.H. Hasenstein. 1992.** The role of calcium in the regulation of hormone transport in gravistimulated roots. *Adv. Space Res.* **12**: 211—218.
- Ferguson, D.L., K. Al-Khatib, J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1993.** Degradation of proteins from thylakoid membranes in senescing wheat leaves at high temperature. *Plant Cell Environ.* **16**: 421—428.
- Ferguson, D.L., J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1990.** Ubiquitin pool changes in wheat roots during high temperature stress. *Plant Physiol.* **92**: 740—746.
- Frank, J.A. and J.D. Paxton. 1971.** A cotyledon assay for phytoalexin elicitation in soybean *Phytopathology* **61**: 954—957.
- Graham, T. and M. Graham. 1991a.** Rapid accumulation of anionic peroxidases and phenolic polymers in soybean cotyledon tissues following treatment with *Phytophthora megasperma* f. sp. glycinea wall glucan. *Plant Physiol.* **97**: 1445—1455.
- Graham, T. and M. Graham. 1991b.** Cellular coordination of molecular responses in plant defense. *Molec. Plant-Microbe Interact.* **3**: 157—166.
- Graham, T. and M. Graham. 1991c.** Glyceollin elicitors induce major but distinctly different shifts in isoflavonoid metabolism in proximal and distal soybean cell populations. *Molec. Plant-Microbe Interact.* **4**: 60—68.
- Halstead, T.W. and F.R. Dutcher. 1987.** Plants in space. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **38**: 317—345.
- Halstead, T.W. and F.R. Dutcher. 1984.** Status and prospects: plants grown in space. *Ann. Bot.* **54** (suppl. 3): 3—18.
- Harding, S.A., J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1990a.** Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. I. Interaction with senescence processes. *Plant Physiol.* **92**: 648—653.
- Harding, S.A., J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1990b.** Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. In: Interaction with source and sink processes. *Plant Physiol.* **92**: 654—658.
- Hartmann, E. and M. Weber. 1990.** Photomodulation of protonema development. In: *Bryophyte Development Physiology and Biochemistry* (R.N. Chopra and S.C. Bhatla, Eds.), pp. 33—54. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Hartmann, E., B., Klingenberg, and L. Bauer. 1983.** Phytochrome-mediated phototropism in protonemata of the moss *Ceratodon purpureus* Brid. *Photochem. Photobiol.* **38**: 599—603.
- Hilaire, E., J.A. Guikema, and C.S. Brown. 1996.** Clinorotation affects morphology and ethylene production in soybean seedlings. *Plant Cell Physiol.* (submitted).
- Hilaire, E., A.Q. Paulsen, C.S. Brown, and J.A. Guikema. 1995a.** Cortical microtubules in sweet clover columella cells developed in microgravity. *Plant Cell Physiol.* **36**: 1387—1392.
- Hilaire, E., A.Q. Paulsen, C.S. Brown, and J.A. Guikema. 1995b.** Effects of clinorotation and microgravity on sweet clover columella cells treated with cytochalasin D. *Physiol. Plantarum* **95**: 267—273.



- Hilaire, E., A.Q. Paulsen, C.S. Brown, and J.A. Guikema. 1995c.** Microgravity and clinorotation cause redistribution of free calcium in sweet clover columella cells. *Plant Cell Physiol.* **36**: 831—837.
- Huber, S.C., R.W. McMichael, J.L. Huber et al. 1995.** Light regulation of sucrose synthesis: Role of protein phosphorylation and possible involvement of cytosolic [Ca²⁺]. In: *Carbon Partitioning and Source-Sink Interactions in Plants* (M. Madore and W. Lucas, Eds), pp. 35—45. ASPP Press, Rockville, MD.
- Hyodo, H. 1991.** Stress/wound ethylene. In: *The Plant Hormone Ethylene* (A. Mattoo and J. Suttle Eds), p. 43—64. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Ilyin, E.A. 1983.** Investigations on biosatellites of the Cosmos series. *Aviat. Space Environ. Med.* **54**: 9—15 [Rus].
- Jackson, M.B. 1991.** Ethylene in root growth and development. In: *The Plant Hormone Ethylene* (A. Mattoo and J. Suttle, Eds.), pp. 159—182. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Johnson, S.P. and T.W. Tibbitts. 1968.** The liminal angle of a plagiotropic organ under weightlessness. *BioScience* **18**: 655—661.
- Keen, N.T. and M. Yoshikawa. 1983.** Physiology of disease and nature of resistance to Phytophthora. In: *Phytophthora: Its Biology, Taxonomy, Ecology, and Pathology* (D.C. Erwin, S. Bartnicki-Garcia and P.H. Tsao, Eds.). Amer. Phytopathol. Soc., St. Paul, MN.
- Klimchuk, D.A., E.L. Kordyum, L.A. Danevich et al. 1992.** Structural and functional organization of plant protoplasts exposed to microgravity on Biokosmos 9. *Adv. Space Res.* **12**: 133—136.
- Knight, C.D. and D.J. Cove. 1991.** The polarity of gravitropism in the moss *Physcomitrella patens* is reversed during mitosis and after grown on a clinostat. *Plant Cell Environ.* **14**: 995—1001.
- Kordyum, E.L. 2004.** Space biology and medicine in Ukraine. In: *Space Science in Ukraine 2002—2004*, pp. 51—58. NSAU, Kyiv.
- Kordyum, E.L. 2002.** Space biology and medicine in Ukraine: concepts and experimental data. In: *Space Science in Ukraine. 2000—2002*. pp. 55—66, NSAU, Kyiv.
- Kordyum, E.L. 2001.** Space biology and medicine in Ukraine. In: *Space Science in Ukraine 1998—2000*, pp. 44—54. NSAU, Kyiv.
- Kordyum, E.L. 1997.** Biology of plant cells in microgravity and under clinostating. *Int. Rev. Cytol.* **171**: 1—78.
- Kordyum, E.L. 1997.** Space biology: current status in the world and in Ukraine. *Space Sci. Techn.* **3**: 5—15 [Ukr].
- Kordyum, E.L. 1994.** Effects of altered gravity on plant cell processes: Results of recent space and clinorotation experiments. *Adv. Space Res.* **4**: 77—85.
- Kordyum, E.L. 1989.** Plant cell in the process of the adaptation to microgravity. *Adv. Space Res.* **9**: 33—36.
- Kordyum, E.L., K.M. Symik, and I.I. Chernyaeva. 1983.** Peculiarities of genital orsan formation in *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. under spaceflight conditions. *Adv. Space Res.* **3**: 247—250.
- Kordyum, E.L., K.M. Sytnik, N.A. Belyavskaya et al. 1994.** Modern State of Space Cell Phytobiology. In: *Problems of Space Biolog.*, **73**. Nauka, Moscow [Rus.].
- Kordyum, E.L., A.F. Popova, and A.L. Mashinsky. 1979.** Influence of orbital flight conditions of formation on genitals in *Muscari racemosum* and *Anethum graveolens*. *Life Sci. Space Res.* **17**: 301—304.
- Krauss, N., W. Hmnut, I. Witt et al. 1993.** Three-dimensional structure of system I of photosynthesis at 6 Å resolution. *Nature* **361**: 326—331
- Krikorian, A.D. and H.G. Levine. 1991.** Development and growth in space. In: *Plant Physiology*. (A Treatise Ed.), **10**: Growth and Development., pp. 491—555. Acad. Press, Boca Raton, FL.
- Krikorian, A.D., H.G. Levine, R.P. Kann, and S.A. O'Conner. 1992.** Effects of space light on growth and cell division in higher plants. *Adv. Space Biol. Medic.* **2**: 181—209.
- Kricorian, A.D. and S.A. O'Connor. 1984.** Experiments on plants grown in space: karyological observations. *Ann. Bot.* **54** (suppl.3): 49—63.
- Kuang, A., M.E. Musgrave, and S.W. Matthews. 1996.** Modification of reproductive development in *Arabidopsis thaliana* under spaceflight conditions. *Planta* **198**: 588—594.
- Kuang, A., M.E. Musgrave, Matthews S.W. et al. 1995.** Pollen and ovule development in *Arabidopsis*

thaliana under spaceflight conditions. *Amer. J. Bot.* **82**: 585—595.

Kuang, A., M.E. Musgrave, and S.C. Tucker. 1993. Pollen development in *Arabidopsis thaliana* in microgravity. *ASGSB Bull.* **7**: 62.

Laurinavichius, R.S., A.V. Yoroshys, and O.Y. Rupaynen. 1988. Prospects for use of plants in life support systems. *USSR Life Science Digest* **25**: 3—5 [Rus].

Leather, G.R., L.E. Forrence, and F.B. Abeles. 1972. Increase ethylene production during clinostat experiments may cause leaf epinasty. *Plant Physiol.* **49**: 183—186.

Levine, H.G. and A.D. Krikorian. 1992. Shoot growth in aseptically cultivated daylily and Haplopappus plantlets after a 5-day spaceflight. *Physiol. Plantarum* **86**: 349—359.

Li, Y., G. Hagen and T.J. Guilfoyle. 1991. An auxin-responsive promoter is differentially induced by auxin gradients during tropisms. *The Plant Cell* **3**: 1167—1175.

Mashinsky, A., I. Ivanova, T. Derendyaeva et al. 1994. "From seed-to-seed" experiment with wheat plants under space-flight conditions. *Adv. Space Res.* **14**: 13—19.

Matthews, S.W., M.E. Musgrave, and S.C. Tucker. 1993. Spaceflight effects on ultrastructure of leaves and roots of *Arabidopsis thaliana*. *ASGSB Bull.* **7**: 83.

Merkys, A.J. and R.S. Laurunavichius. 1983. Complete cycle of individual development of *Arabidopsis*

thaliana (L.) Heynh. plants on board "Salyut-7" orbital station. *Dokl. Akad. Nauk USSR. Ser. Biol.* **271**: 509—512 [Rus].

Moore, R., N.M. Fondren, E.R. McClellan, and C.-L. Wang. 1987a. Influence of microgravity on cellular differentiation in root caps of *Zea mays*. *Amer. J. Bot.* **74**: 1006—1012.

Moore, R., E.R. McClellan and W.M. Fondren. 1987b. Influence of microgravity on root-cap regeneration and the structure of columella cells in *Zea mays*. *Amer. J. Bot.* **74**: 218—223.

Moore, R., W.M. Fondren, C.E. McClellan, and C.L. Wang. 1987c. The influence of microgravity on cellular differentiation in root caps of *Zea mays*. *Amer. J. Bot.* **75**: 216—221.

Musgrave, M.E., C.S. Brown, D.M. Porterfield et al. 1994. Physiological changes in *Arabidopsis thaliana* during spaceflight. *Plant Physiol.* **105** (suppl.): 21.

Musgrave, M.E., D.B. Cummins, S.W. Matthews et al. 1993. Growth and flowering of *Arabidopsis thaliana* during spaceflight. *ASGSB Bull.* **7**: 83.

Nakata, P.A. and T.W. Okita. 1995. Differential regulation of ADP-glucose pyrophosphorylase in the sink and source tissue of potato. *Plant Physiol.* **108**: 361—368.

Parfenov, G.P. and V.N. Abramova. 1981. Blossoming and maturation of *Arabidopsis seed*: Experiment on Biosatellite Kosmos 1129. *Dokl. Akad. Nauk USSR* **256**: 254—256 [Rus].

Podluzky, A.G. 1992. Ultrastructural analysis of organization of roots obtained from cell cultures at clinostating and under microgravity. *Adv. Space Res.* **12**: 93—98.

Popova, A.F., K.M. Sytnik, E.L. Kordyum et al. 1989. Ultrastructural and growth indices of *Chlorella* culture in multicomponent aquatic systems under space flight. *Adv. Space Res.* **9**: 179—183.

Rasmussen, O., D.A. Klimchuk, E.L. Kordyum et al. 1992. The effect of exposure to microgravity on the development and structural organization of protoplasts flown on Biocosmos 9. *Physiol. Plantarum* **84**: 162—170.

Reynolds, O.E. and J.F. Saunders. 1971. The scientific conclusions of NASA SP 204, pp. 347—352, Washington DC.

Romano, C.P., M.L. Cooper, and H.J. Klee. 1993. Uncoupling auxin and ethylene effects in transgenic tobacco and *Arabidopsis plants*. *The Plant Cell* **5**: 181—189.

Rumyanzeva V.B. M.N. Merzlyak, A.L. Mashinsky et al. 1990. Influence of space flight conditions on the pigment and lipid content in wheat. *Kosm. Biol.* **1**: 53—57 [Rus].

Sack, F.D. 1993. Gravitropism in protonemata of the moss *Ceratodon*. *Bull. Torrey Bot. Club* **25**: 36—44.

Sack, F.D. 1991. Plant gravity sensing. *Int. Rev. Cytol.* **127**: 193—252.

Salisbury, F.B. and R.M. Wheeler. 1981. Interpreting plant responses to clinostating 1. Mecha-



nical stresses and ethylene. *Plant Physiol.* **67**: 677—685.

Schmitthenner, A.F. 1985. Problems and progress in control of *Phytophthora* root rot of soybean. *Plant Disease* **96**: 362—368.

Schmitthenner, A.F. 1989. *Phytophthora* rot in: Compendium of Soybean Diseases, 3rd ed. (J.B. Sinclair and P.A. Beckman, Eds.), pp. 35—38. APS Press, Minneapolis.

Schmitthenner, A.F., M. Hobe, and R.G. Bhat. 1994. *Phytophthora sojae* races in Ohio over a 10-year interval. *Plant Disease* **78**: 269—276.

Schubert, W.D., O. Klukas, N. Krauss et al. 1995. Present state of the crystal structure analysis of photosystem I at 4.5 Å resolution. In: *Photosynthesis: from Light to Biosphere* (P. Mathis, Ed.), pp. 3—10. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.

Schulze, A., P.J. Jensen, M. Desrosiers et al. 1992. Studies on the growth and indole-3-acetic acid and abscisic acid content of *Zea mays* seedlings grown in microgravity. *Plant Physiol.* **100**: 692—698.

Schwuchow, J.M., D. Kim, and F.D. Sack. 1995. Caulonemal gravitropism and amyloplast sedimentation in the moss *Funaria*. *Can. J. Bot.* **73**: 1029—1035.

Schwuchow, J. and F.D. Sack. 1993. Effects of inversion on plastid position and gravitropism in *Ceratodon* protonemata. *Can. J. Bot.* **71**: 1243—1248.

Schwuchow, J., F.D. Sack, and E. Hartmann. 1990. Microtubule distribution in gravitropic protonemata of the moss *Ceratodon*. *Protoplasma* **159**: 60—69.

Schwuchow, J. and F.D. Sack. 1994. Microtubules restrict plastid sedimentation in protonemata of the moss *Ceratodon*. *Cell Motil. Cytoskel.* **29**: 366—374.

Sievers, A., D. Volkmann, W. Hensel et al. 1976. Cell polarity in root statocytes in spite of simulated weightlessness. *Naturwiss.* **63**: 343.

Stark, D.M., K.P. Timmerman, G.F. Barry et al. 1992. Regulation of the amount of starch in plant tissues by ADP glucose pyrophosphorylase. *Science* **258**: 237—292.

Stitt, M., C. Cseke and B. Buchanan. 1986. Ethylene-induced increase in fructose-2,6-bisphosphate in plant storage tissues. *Plant Physiol.* **80**: 246—248.

Tarasenko, V.A., E.L. Kordyum, and K.M. Sytnik. 1982. Ultrastructure of *Arabidopsis thaliana* root cap under space flight conditions. *Dokl. Akad. Nauk UkrSSR, ser. Biol.* **7**: 79—81 [Rus].

Todd, P. 1992. Physical effects at the cellular level under altered gravity conditions. *Adv Space Res.* **12**: 43—49.

Tripathy, B.C., C.S. Brown, H.G. Levine, and A.D. Krikorian. 1996. Growth and photosynthetic responses of wheat plants grown in space. *Plant Physiol.* **110**: 801—806.

Volkmann, D., B. Buchen, Z. Hejnowicz et al. 1991. Oriented movement of statoliths studied in a reduced gravitational field during parabolic flights of rockets. *Planta* **185**: 153—158.

Walker, L.M. and F.D. Sack. 1990. Amyloplasts as possible statoliths in gravitropic protonemata of the moss *Ceratodon purpureus*. *Planta* **181**: 71—77.

Walker, L.M. and F.D. Sack. 1991. Recovery of gravitropism after basipetal centrifugation in protonemata of the moss *Ceratodon purpureus*. *Can. J. Bot.* **69**: 1737—1744.

Walker, L.M. and F.D. Sack. 1992. Ultrastructural analysis of dark grown protonemata of the moss *Ceratodon*. *ASGSB Bull.* **6**: 38.

Walker, L.M. and F.D. Sack. 1995a. Microfilament distribution in protonemata of the moss *Ceratodon*. *Protoplasma* **189**: 229—237.

Walker, L.M. and F.D. Sack. 1995b. An ultrastructural analysis of cell component distribution in apical cells of *Ceratodon* protonemata. *Protoplasma* **189**: 238—248.

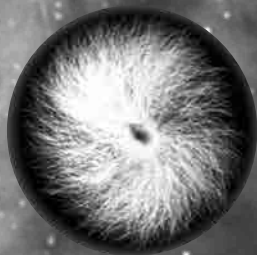
Xu, Q, R.L. Henry, J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1995a. Association of high-temperature injury with increased sensitivity of photosynthesis to abscisic acid in wheat. *Environ. Exp. Bot.* **35**: 441—454.

Xu, Q, A.Q. Paulsen, J.A. Guikema, and G.M. Paulsen. 1995b. Functional and ultrastructural injury to photosynthesis in wheat by high temperature during maturation. *Environ. Exp. Bot.* **35**: 43—54.

Young, J.C., and F.D. Sack. 1992. Time-lapse analysis of gravitropism in *Ceratodon* protonemata. *Amer. J. Bot.* **79**: 1348—1358.

ОСНОВНІ
ПУБЛІКАЦІЇ ЗА
РЕЗУЛЬТАТАМИ
СУАЕ

MAIN
PUBLICATIONS
ON CUE RESULTS



Guikema.1998. Structural and functional organization of mesophyll cells of *Brassica rapa* plants grown in microgravity. *ASGSB Bull.* **12:** 46.

Adamchuk, N.I., N.F. Mikhaylenko, E.K. Zolotareva, E. Hilaire, and J.A. Guikema. 1999.

Spaceflight effects on structural and some biochemical parameters of *Brassica rapa* photosynthetic apparatus. *J. Gravit. Physiol.* **6:** 95—96.

Adamchuk, N.I., J.A. Guikema, S. Jialo, and E. Hilaire. 2002. State of *Brassica rapa*.

Photosynthetic membranes in microgravity. *J. Gravit. Physiol.* **9:** 229—230.

Brown, C.S., M.M. Sanwo-Lawandowski, M.A. Keller, W.C. Piastuch, and J.A.

Guikema. 1998. The interaction of gravity and ethylene in soybean seedlings. *ASGSB Bull.* **12:** 76.

Chaban, C.I., O.T. Demkiv, E.L. Kordyum, V.D. Kern and F.D. Sack. 1998. Growth of *Pottia intermedia* protonemata in altered gravity. *J. Gravit. Physiol.* **5:** 161—162.

Chaban, C, V.D Kern, R.T Ripetskyj, O.T Demkiv, and F.D Sack 1998. Gravitropism in secondary protonemata of the moss *Pottia*. *J. Bryology* **20:** 287—99.

Chapman, D.K., G. Goins, C. Johnson, W. Piastuch, and G. Stutte. 1998. Collaborative Ukrainian Experiments (CUE) conducted on STS-87 mission Nov 1997. *ASGSB Bull.* **12:** 45.

Cherevchenko, T. and N. Zaimenko.1998. Microgravity effects on free amino acids content in *Brassica rapa*. *ASGSB Bull.* **12:** 46.

Demkiv, O.T., E.L. Kordyum, and Ya.D. Khorkavtsiv 1998. Gravi- and photostimuli in moss protonema growth movements. *Adv. Space Res.* **21:** 1191—1195.

Guikema J.A., E. Hilaire, and S. Jiao. 1998. BPAC experiment to examine the effects of space flight on the photosynthetic apparatus. *ASGSB Bull.* **12:** 45.

Hilaire,T., M. Ryba-White, O. Nedukha, E. Kordyum, J. Guikema, and J. Leach. 1998. Effects of microgravity on pathogenesis and defense responses in soybean tissues. *ASGSB Bull.* **12:** 56.

Jiao, S., E. Hilaire, and J.A. Guikema. 1998. Influence of spaceflight on photosystem I (PSI) of *Brassica rapa*. *ASGSB Bull.* **12:** 14.

Kern, V.D. and F.D. Sack.1998. Cellular and organelle positioning of gravitropic moss protonemata in microgravity. *ASGSB Bull.* **12:** 55.

Kern V.D. and F.D. Sack. 1999. Irradiance-dependent regulation of gravitropism by red light in protonemata of the moss *Ceratodon purpureus*. *Planta* **209:** 299—307.

Kern, V.D, F.D Sack, N.J. White, K Anderson, W. Wells, and C. Martin 1999. Spaceflight hardware allowing unilateral irradiation and chemical fixation in situ in petri dishes. *Adv. Space Res.* **24:** 775—778.

Kern, V.D. and F.D Sack 2001. Effects of spaceflight (STS-87) on tropisms and plastid positioning

in protonemata of the moss *Ceratodon purpureus*. *Adv. Space Res.* **27**: 941—949.

Kern, V.D, J.D Smith, J.M Schwuchow, and F.D Sack. 2001. Amyloplasts that sediment in protonemata of the moss *Ceratodon purpureus* are non-randomly distributed in microgravity. *Plant Physiol.* **125**: 2085—2094.

Kern, V.D, J.M.Schwuchow, D.W. Reed, J.A. Nadeau, J.R. Lucas, A. Skripnikov, and F.D. Sack. 2005. Gravitropic moss cells default to spiral growth on the clinostat and in microgravity during spaceflight. *Planta.* **221**: 149—157.

Klymchuk, D.O. 1998. Plant cells in vitro under altered gravity. *J. Gravit. Physiol.* **5**: 147—148.

Klymchuk, D.O., C.S. Brown, W.C. Piastuch, and E.L. Kordyum. 1998. Alterations in the root tip cells of soybean seedlings grown under microgravity. *ASGSB Bull.* **12**: 45.

Klymchuk, D.O, C.S Brown, and D.K Chapman 1999. Ultrastructural organization of cells in soybean root tips in microgravity. *J. Gravit. Physiol.* **6**: 97—98.

Klymchuk, D.O, C.S Brown, D.K Chapman, T.V. Vorobyova, and G.M Martyn. 2001. Cytochemical localization of calcium in soybean root cap cells in microgravity. *Adv. Space Res.* **27**: 967—972.

Klymchuk, D.O., E.L. Kordyum, T.V. Vorobyova, C.S. Brown, and D.K. Chapman. 2001. Microgravity mediated changes in phytoferritin accumulation in soybean root cap cells. *J. Gravit. Physiol.* **7**: 79—80.

Klymchuk, D.O., E.L. Kordyum, D.K. Chapman, C.S. Brown and T.V. Vorobyova. 2003. Changes in vacuolization in the root apex cells of soybean seedlings in microgravity. *Adv. Space Res.* **31**: 2283—2288.

Kochubey S.M., O.G. Volovik, and D.Yu. Korneev. 1998. The influence of microgravity on the photosynthetic apparatus of higher plants. *ASGSB Bull.* **12**: 77.

Kochubey S.M., N.I. Adamchuk, E.L. Kordyum, and J.A. Guikema. 2003. Microgravity affects the photosynthetic apparatus of *Brassica rapa* L. *Plant Biosystems* **38**: 1—9.

Kordyum E.L. and J.A. Guikema. 1998. Background and history of events leading to the Cooperative Ukrainian Experiment (CUE) spaceflight mission aboard shuttle Columbia on STS-87. *ASGSB Bull.* **12**: 76.

Kordyum, E.L., G.I. Martin, V.A. Zaslavsky, S. Jiao, E. Hilaire and J.A. Guikema. 1999. DNA content and differentiation of root apical cells of *Brassica rapa* plants grown in microgravity. *J. Gravit. Physiol.* **6**: 119—120.

Kordyum, E.L. and J.A. Guikema. 2001. To the question on a role of amyloplasts and nuclei in root cap statocytes in microgravity. *Dokl. Natl. Acad. Sci. Ukraine* **5**: 157—161 [Rus]

Kordyum, E L. and J.A. Guikema. 2001. An active role of the amyloplasts and nuclei of root statocytes in graviperception. *Adv. Space Res.* **27**: 951—956.

Kordyum, E.L 2002. Gravisensitivity of plant cells: Experimental data and hypotheses. *J. Gravit. Physiol.* **9**: 219—220.

Kordyum, E.L 2003. A role for the cytoskeleton in plant cell gravisensitivity and Ca²⁺—signaling in microgravity. *Cell Biol. Int.* **27**: 219—221.

Kordyum, E.L 2003. Calcium signaling in plant cells in altered gravity. *Adv. Space Res.* **32**: 621—630.

Kuang, A., Y. Xiao, S. Matthews, and M. E. Musgrave. 1998. Pollination and embryo development in *Brassica rapa* on STS-87. *ASGSB Bull.* **12**: 77.

Kuang, A., Y. Xiao, S. Matthews, and M. Musgrave. 1998. Reproduction on orbit by plants in the family *Brassicaceae*. *32nd Scientific Assembly of COSPAR*, Nagoya, Japan, p. 380.

Kuang, A., A.F. Popova, Y. Xiao, and M. Musgrave. 2000. Pollination and embryo development in *Brassica rapa* L. in microgravity. *Inter. J. Plant Sci.* **161**: 203—211.

Kuang, A., A. Popova, G. McClure, and M. Musgrave. 2005. Dynamics of storage reserve deposition during *Brassica rapa* L. pollen and seed development in microgravity. *Inter. J. Plant Sci.* **166**: 85—96.

Kuznetsov, O.A. C.S. Brown, H.G. Levine, W.C Piastuch, M.M. Sanwo-Lewandowski, and K.H. Hasenstein. 2001. Composition and physical properties of starch in microgravity-grown plants. *Adv. Space Res.* **28**: 651—658.

Leach, J.E., L.A. Lloyd, J.D. McGee, E. Hilaire, X. Wang, and J. Guikema, J. 2000. Trafficking of

plant defense response compounds. In: *Delivery and Perception of Pathogen Signals in Plants*. (N. Keen, S. Mayama, J.E. Leach, and S. Tsuyumu, Eds.), pp. 240—250. APS Press, St. Paul.

Leach, J. E. 2001. Hypersensitivity. In: *Encyclopedia of Plant Pathology*. (O.C. Maloy and T.D. Murray, Eds.), pp. 556—557. John Wiley & Sons, Inc., London.

Leach, J., M. Ryba-White, O. Nedukha, E. Kordyum, and J. Guikema. 2001. Plants, plant pathogens and microgravity. A deadly trio. *ASGSB Bull.* **14:** 15—23.

Levine, H.G., G.A. Sharek, K.M. Johnson, E.C. Stryjewski, V.I. Prima, O.I. Martinenko, and W.C. Piastuch. 2000. Growth protocols for etiolated soybeans germinated within BRIC-60 canisters under spaceflight conditions. *Adv. Space Res.* **26:** 311—314.

Martin, G.I., E.L. Kordyum, V.A. Zaslavsky, E. Hilaire, and J.A. Guikema. 1998. Ultrastructure and DNA content of *Brassica rapa* apical root cells of plants grown in microgravity. *ASGSB Bull.* **12:** 77.

Martinenko, O.I., V.I. Prima, K.M. Johnson and W.C. Piastuch. 2002. *Glycine max* sv. McCall is a sensitive to gravity plant system for gene expression research. *Ukr. Biochem. J.* **74:** 45 [Ukr].

Musatenko, L., V. Generalova, V. Negretsky, N. Vedenicheva, L. Kadenyuk, and K. Sytnik. 1998. Phytohormones in astropants *Brassica rapa* L. *ASGSB Bull.* **12:** 45.

Nedukha, O., J. Leach, M. Ryba-White, E. Hilaire, J. Guikema, and E. Kordyum. 1998. Effect of micro-

gravity on the susceptibility of soybean to *Phytophthora sojae*. *J. Gravit. Physiol.* **5:** 143—144.

Nedukha, O., C. Brown, and E. Kordyum. 1999. Electron-cytochemical study of Ca²⁺ in cotyledons cells of soybean grown in microgravity. *J. Gravit. Physiol.* **6:** 123—124.

Nedukha, O., E. Kordyum, C. Brown, and W. Piastuch. 1998. Influence of microgravity on Ca²⁺ localization and relative content. *ASGSB Bull.* **12:** 76.

Nedukha, O., J. Leach, E. Kordyum, M. Ryba-White., E. Hilaire, J. Guikema, and W. Piastuch. 1999. Root meristem ultrastructure of soybean seedlings infected with a pathogenic fungus in microgravity *J. Gravit. Physiol.* **6:** 125—126.

Nedukha, O.M., E.L. Kordyum, J.E. Leach, J.A. Guikema, and M. Ryba-White. 1999. Interaction of soybean seedlings and a pathogenic fungus in microgravity. *Inter. Conference " Plant Physiology—Science of 3th Century*, Moscow, Russia, p. 233 [Rus].

Nedukha, O., E. Kordyum, C. Brown, and D. Chapman. 2001. The interaction of microgravity and ethylene on the ultrastructure cell and Ca⁺⁺ localization in soybean hook hypocotyl *J. Gravit. Physiol.* **8:** 49—50.

Nedukha, O., E. Kordyum, J. Leach, and M. Ryba-White. 2001. Possible mechanism of microgravity influence on plant susceptibility to invasion by fungal pathogen *Preprint of the 52nd Congress of IAF*, Toulouse, France.

Nedukha, O., E. Kordyum, and C. Brown. 2002. Cell structure and mobilization of lipids and proteins

from cotyledon under microgravity influence *Proc. Eur. Symp. "Life in Space for Life on Earth"*, pp. 313—314. Stockholm, Sweden.

Nedukha, O., E. Kordyum, and C. Brown. 2002. Cell structure and mobilization of lipids and proteins from cotyledon under microgravity influence. *J. Gravit. Physiol.*, **9:** 231—232.

Nedukha O.M., E.L. Kordyum, and C.S. Brown. 2003. Microgravity effects on the structural and functional organization of soybean cotyledons. *3th Ukr. Conference on Perspective Space Research*, Kaziveli, Crimea, p. 87.

Piastuch, W.C., K.M. Johnson, H.G. Levine, E.C. Stryjewski, L.H. Levine, J.A. Sharek, O. Martinenko, and V. Prima. 1998. Morphological, cellular and molecular analysis of etiolated soybean tissue from the gene expression (GENEX) STS-87 spaceflight experiment. *ASGSB Bull.* **12:** 55.

Popova, A., A. Kuang, G. McClure, and M. Musgrave. 2002. Reserve nutrient substance accumulation in *Brassica rapa* L. seeds in microgravity conditions (STS-87). *J. Gravit. Physiol.* **9:** 237—238.

Popova, A., A. Kuang, and M. Musgrave. 2003. Histochemical research of the *Brassica rapa* L. seeds generated in microgravity conditions. *Proc. Eur. Microscopy Congress*, Pula, Croatia, p. 145—146.

Ryba-White, M., O. Nedukha, E. Hilaire, J. Guikema, E. Kordyum, and J. Leach. 1998. Growth in microgravity increases susceptibility of soybean seedlings to a fungal pathogen. *ASGSB Bull.* **12:** 24.



- Ryba-White, M., O. Nedukha, E. Kordyum, and J. Leach. 2001.** Growth in microgravity increases susceptibility of Soybean to fungal pathogen. *Plant Cell Physiol.* **42**: 657—664.
- Sack, F.D. 1997.** Plastids and gravitropic sensing. *Planta*, **203**: 63—68.
- Sack, F.D., V.D. Kern, and T.A. Wagner. 1998.** Gravitropism in moss protonemata. In: *Bryology for the Twenty-First Century*. (J.W. Bates, N.W. Ashton, and J.G. Duckett, Eds.), pp 247—260. Maney Publishing and British Bryol. Soc., Leeds.
- Sack, F.D., V.D. Kern, N.J. White, K. Anderson, W. Wells, and C. Martin. 1998.** Spaceflight hardware allowing unilateral irradiation and chemical fixation in situ in petri dishes. *ASGSB Bull.* **12**: 48.
- Sack, F. 2001.** Tropisms and nastic movements. In: *Plant Sciences*, **4**, pp. 130—137. Macmillan Reference.
- Sack, F, J. Schwuchow, T. Wagner, and V. Kern. 2001.** Gravity sensing in moss protonemata. *Adv. Space Res.* **27**: 871—876.
- Schwuchow, J.M., V.D. Kern, T. Wagner, and F.D. Sack. 2000.** The density of apical cells of dark-grown protonemata of the moss *Ceratodon purpureus*. *Protoplasma* **211**: 225—234.
- Schwuchow, J.M., V.D. Kern, and F.D. Sack. 2002.** Tip-growing cells of the moss *Ceratodon purpureus* are gravitropic in high-density media. *Plant Physiol.* **130**: 2095—2100.
- Schwuchow, J.M., V.D. Kern, N.j. White, and F.D. Sack. 2002.** Conservation of the plastid sedimentation zone in all moss genera with known gravitropic protonemata. *J. Plant Growth Regulation.* **21**:146—155.
- Stryjewski, E.C., K.M. Johnson, H.G. Levine, W.C. Piastuch, J.A. Sharek, O. Martynenko, and V. Prima. 1998.** Carbohydrate deposition patterns in etiolated soybean seedlings grown in microgravity. *ASGSB Bull.* **12**: 46.
- Wagner, T.A., D.J. Cove, and F.D. Sack. 1996.** A positively gravitropic mutant mirrors the wild-type protonemal response in the moss *Ceratodon*. In: *Plants in Space Biology* (H. Suge Ed.), pp. 53—60. Institute of Genetic Ecology, Tohoku University, Japan.
- Wagner, T.A. and F.D. Sack. 1998.** Gravitropism and gravimorphism during regeneration from protoplasts of the moss *Ceratodon purpureus* (Hedw.) *Brid. Planta.* **205**: 352—358.
- Walker, L.M. and F.D. Sack. 1995.** Microfilament distribution in protonemata of the moss *Ceratodon*. *Protoplasma.* **189**: 229—37.
- Walker, L.M. and F.D. Sack. 1995.** An ultrastructural analysis of cell component distribution in apical cells of *Ceratodon* protonemata. *Protoplasma.* **189**: 238—48.
- Walker, L.M. and F.D. Sack. 1997.** Stereological analysis of gravitropism in protonemata of the moss *Ceratodon*. *Inter. J. Plant Sci.* **158**: 24—31.
- Zolotareva E.K. and N.F. Mikhaylenko. 1998.** Spaceflight effects lipid and fatty acid composition in *Brassica rapa* chloroplasts. *ASGSB Bull.* **12**: 76.

ЗМІСТ

| | |
|--|------------|
| ПЕРЕДМОВА | 5 |
| ВСТУП | 7 |
| КОСМІЧНА БІОЛОГІЯ В УКРАЇНІ | 9 |
| СПІЛЬНИЙ УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ (СУАЕ) | 14 |
| 1994 рік | 14 |
| 1995 рік | 15 |
| I робота закипіла | 15 |
| Перша робоча нарада | 17 |
| 1996 рік | 19 |
| “Робочі дні” почалися | 21 |
| Наукові завдання СУАЕ | 23 |
| Опис приладів | 33 |
| Роль українського космонавта-дослідника | 33 |
| Освітня програма | 33 |
| Науковий перевірочний тест | 34 |
| 1997 рік | 35 |
| Перевірочний тест з корисного вантажу | 35 |
| 19 листопада: наближення | 36 |
| Коментарі преси | 39 |
| Леонід Каденюк — як космонавт-дослідник | 40 |
| 1998 рік | 41 |
| Доповіді учасників СУАЕ | 42 |
| Короткі резюме американських головних дослідників | 51 |
| Освітня програма | 52 |
| ЛІТЕРАТУРА | 206 |
| ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ СУАЕ | 211 |

CONTENT

| | |
|---|------------|
| PREFACE | 159 |
| INTRODUCTION | 161 |
| SPACE BIOLOGY IN UKRAINE | 163 |
| COLLABORATIVE UKRAINIAN EXPERIMENT (CUE) | 168 |
| 1994 year | 168 |
| 1995 year | 169 |
| And so, the work got rolling | 169 |
| Kickoff Meeting | 171 |
| 1996 year | 173 |
| “Work days” began | 175 |
| CUE Scientific Objectives | 177 |
| Hardware Description | 186 |
| Role of the Ukrainian Payload Specialist | 186 |
| Educational Program | 187 |
| Science Verification Test | 187 |
| 1997 year | 188 |
| Payload Verification Test | 188 |
| November 19: approaches | 189 |
| Press comments | 192 |
| Leonid Kadenyuk as the Payload Specialist | 193 |
| 1998 year | 194 |
| CUE participants' reports | 195 |
| Short summaries of American Principal Investigators | 204 |
| Educational Program | 205 |
| REFERENCES | 206 |
| MAIN PUBLICATIONS ON CUE RESULTS | 211 |

Наукове видання

КОРДЮМ Єлизавета Львівна

ЧЕПМЕН Дейв К.

РОСЛИНИ В КОСМОСІ

СПІЛЬНИЙ УКРАЇНСЬКО-АМЕРИКАНСЬКИЙ ЕКСПЕРИМЕНТ

МІСІЯ-87

19 листопада — 5 грудня 1997 року

Редактор *А.А. Дідух*

Дизайн та комп'ютерна верстка *М.М. Корзун*

Технічний редактор *Т.М. Шендерович*

Видавничий дім "Академперіодика" НАН України

01004, Київ-4, вул. Терещенківська, 4

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи серії ДК № 544 від 27.07.2001 р.

Підписано до друку 29.03.2007. Формат 70 × 108/16.

Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 18,9.

Обл.-друк. арк. 22,95. Наклад 500 прим. Зам. №

Друкарня видавництва "Логос"

вул. Б. Хмельницького 10, Київ-30, 01030, Україна

тел.: (044) 235-60-03



РОСЛИНИ
В КОСМОСІ

PLANTS
IN SPACE

