

¹ Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
Україна, 01601 м. Київ, МСП-1, вул. Терещенківська, 2

² Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НАН України
Україна, 01014 м. Київ, вул. Тімірязєвська, 1

ВНЕСОК Т.М. ЧЕРЕВЧЕНКО В РОЗВИТОК КОСМІЧНОЇ БІОЛОГІЇ

Висвітлено внесок Т.М. Черевченко у з'ясування особливостей функціонування штучних біогеоценозів у модельних експериментах з використанням кліноставів, герметичних камер і в умовах космічного польоту.

Дослідження росту і розвитку рослин під дією факторів космічного польоту розпочалися ще на зорі космічної ери і були зумовлені не лише намаганням зрозуміти, яким чином впливає незвичне для земних організмів мікрогравітаційне середовище на їхні основні функції, а й практичними завданнями щодо створення космічних оранжерей і планетних баз.

Всебічні комплексні дослідження модельних рослинних об'єктів, які перебували в активному фізіологічному стані в умовах невагомості, на різних рівнях їх структурно-функціональної організації, зокрема на клітинному, дали можливість вивчити різнопланову дію мікрогравітації на життєдіяльність і розвиток живих систем. У серії космічних і лабораторних експериментів, які моделювали певною мірою вплив окремих факторів орбітального польоту, було визначено характер змін, що відбуваються в одно- і багатоклітинних організмах під впливом стресів залежно від природи і терміну дії фактора, ступеня організації і фізіологічного стану рослинних об'єктів [1–3].

Запропонований Т.М. Черевченко мультиваріантний підхід у дослідженнях структуроутворення штучної екосистеми в умовах мікрогравітації, системний аналіз фізико-хімічних і біохімічних параметрів, кількісна оцінка показників фізіологічного

стану дали змогу не лише дослідити зміни в рослинному організмі, які виникають при невагомості, а й створити теоретичні передумови для космічної біотехнології, зокрема космічного рослинництва. Головним напрямом наукової діяльності Т.М. Черевченко в галузі космічної біології слід вважати розробку експериментальних шляхів створення культургеоценозу, які супроводжувались добором видів рослин різного еко типу, заміників ґрунту і добрив та детальним вивченням фізико-хімічних, фізіологічних, біохімічних та молекулярних процесів, що відбуваються у штучних і закритих екосистемах в умовах невагомості.

Дослідження в галузі космічної ботаніки в Національному ботанічному саду імені М.М. Гришка НАН України були започатковані Т.М. Черевченко в 1979 р., а вже через рік оранжерея "Малахіт" була виведена на орбіту на борту космічного корабля "Союз-36" і розміщена на орбітальній станції "Салют-6". Великий оригінальний матеріал, одержаний у біологічних експериментах на борту орбітальної станції, довів доцільність використання орхідей як модельних об'єктів для вивчення особливостей ростових і формотворних процесів, а також фізіолого-біохімічних та анатомічних змін, що відбуваються в умовах мікрогравітації. Переконаливо показано, що орхідеї створюють чудовий фітодизайн у космічному апараті. Вибір об'єктів був зумовлений, насамперед, відмінностями в

морфологічній будові вегетативних і генеративних органів, наявністю у цій групі рослин різних екотипів: епіфітів і видів, що ведуть наземний спосіб життя, з моноподіальним і симподіальним типом галузження пагонової системи. Слід зазначити, що унікальною особливістю орхідних є те, що в межах однієї родини рослини здатні фіксувати вуглець по шляху C_3 , C_4 і САМ. В експерименті орхідеї різного екоморфотипу, які культивувались у мікрооранжереї "Малахіт", досліджувались після 60-, 110- та 171-добового перебування на орбіті. Отримані при цьому результати довели, що рослини без видимих змін перенесли перевантаження при виході корабля на орбіту. Суцвіття та квітки повністю зберегли декоративність, проте період їх цвітіння значно скоротився. Анатомічні дослідження показали, що в умовах космічного польоту процеси диференціації тканин пагонів та коренів відбувалися без особливих порушень. Спостерігалось лише деяке зменшення розмірів клітин і помітна редукція паренхімних тканин, що призводило до зменшення діаметра пагонів та повітряних коренів.

Багаторічні дослідження із залученням кліностратів підтвердили припущення щодо доцільності використання різних видів орхідних як модельних об'єктів для визначення дії невагомості на ріст і розвиток вищих рослин. В експериментах на горизонтальному і вертикальному кліностратах при аналізі фітогормонального статусу було з'ясовано, що генеративно зрілі епіфітні орхідеї із симподіальним типом галузження пагонової системи і наявністю туберидіїв найбільш придатні для подальших досліджень у тривалих космічних польотах.

Певні зміни спостерігались в біохімічному складі рослин. Істотно змінювався розподіл біогенних елементів у вегетативних органах, зокрема відбувалось різке зменшення вмісту фосфору, азоту і кальцію в тканинах рослин. Слід зазначити, що вияв-

лене при цьому збільшення об'єму кореневої системи за умов імітованої мікрогравітації зумовлене порушенням фосфатного обміну в рослинах. Результати досліджень свідчать також про значні відмінності в амінокислотному складі рослин, біосинтезі фотосинтетичних пігментів, розподілі асимілятів в органах орхідних. Аналогічні результати були отримані і в експериментах з рослинами *Brassica oleracea*. В умовах космічного польоту на борту "Шаттла" вперше було виявлено факт різкого збільшення концентрації аргініну і лізину в листках і стеблах дослідних рослин на 28-у добу розвитку, що може свідчити про недостатню фосфатну забезпеченість.

Для диференціювання впливу невагомості і мікроклімату гермооб'єму на ріст і розвиток рослин була проведена серія експериментальних робіт з вивчення їх біохімічного складу після 24-місячного перебування в умовах герметичної камери і 12-місячного кліностратування. Вперше визначено пороги чутливості орхідних до дії мікроклімату гермооб'єму та кліностратування залежно від їх морфологічних особливостей. Виявлено істотні розбіжності у кількості фотосинтетичних пігментів і нуклеїнових кислот, концентрації біогенних елементів, якісному складі вільних амінокислот у рослин залежно від будови пагонової системи. Показано, що для моноподіальних видів порівняно із симподіальними характерне збільшення в тканинах листків і повітряних коренів вмісту азоту, калію і марганцю, підвищення концентрації хлорофілів, зменшення рівня вільних амінокислот. Зовсім інша залежність спостерігається у рослин за умов 12-місячного кліностратування. При тривалій імітованій мікрогравітації підвищується кількість вільних амінокислот, зменшується вміст фосфору, калію і кальцію в тканинах орхідних. Причому така закономірність зберігається у рослин незалежно від особливостей їх морфологічної будови. Встанов-

лені біохімічні відмінності у рослин різного екотипу дадуть змогу у майбутньому розробити оптимальну технологію їх культивування в умовах закритих екосистем при тривалому перебуванні рослинних організмів у космосі.

Пластичність і різноманітність стратегій життєдіяльності рослин різних екотипів визначають можливості їх існування за екстремальних умов, у т. ч. і в умовах космічного польоту. Відомо, що однією з причин загибелі рослин при мікрогравітації може бути високий вміст летких органічних сполук у герметичних камерах, тому вивчення здатності рослин поглинати і знешкоджувати токсичні органічні речовини антропогенного походження – важливе завдання, яке становить великий теоретичний інтерес і має практичне значення для формування штучних біогеоценозів. Використання вищих рослин як біофільтрів для очищення атмосфери закритих екологічних систем від летких органічних сполук сприяє розробці основ космічного фітодизайну. При цьому порівняльне вивчення впливу імітованої мікрогравітації і невагомості на еколого-фізіологічні і біохімічні процеси рослин різного екоморфотипу дає можливість істотно розширити сферу їхнього використання. У результаті проведеної роботи було визначено діагностичні критерії для пошуку видів, здатних поглинати токсичні органічні сполуки: активність поліфенолоксидази, вміст у листках каротиноїдів, міді і дицукрів тощо. Отримані дані в майбутньому можуть бути використані при створенні принципово нових біологічних систем для оптимізації екологічного стану закритих приміщень.

Аналіз сучасного стану космічної і гравітаційної біології дає змогу досить чітко окреслити основні проблеми щодо конструювання штучних біогеоценозів та дослідження їх функціонування в умовах невагомості, розв'язання яких сприятиме глибокому вивченню механізмів впливу гравітації і

мікрогравітації на живі організми і створенню теоретичних уявлень про ріст і розвиток автотрофних організмів в умовах гермооб'ємів. Це необхідно також для розробки основ космічних біотехнологій, методів космічного рослинництва та прогнозування надійності функціонування автотрофної ланки контрольованих екологічних систем життєзабезпечення людини. Отримані експериментальні результати довели необхідність проведення подальших науково-дослідних робіт з розробки принципів космічного ґрунтознавства і пошуку шляхів оптимізації вирощування рослин в умовах штучних біогеоценозів.

Процеси формування і структуроутворення штучних біогеоценозів, в яких механізми саморегуляції частково або майже повністю замінені механізмами антропогенної регуляції, досі практично не вивчені. Літературні дані і дослідження, проведені під керівництвом Т.М. Черевченко, свідчать про важливість розробки теоретичних і практичних підходів до структурно-функціонального конструювання штучних біогеоценозів у системі: ґрунт–рослина–навколишнє середовище. Було доведено, що з усієї різноманітності матеріалів, які використовують як ґрунтозамінники в космічних експериментах, волокнистий субстрат є найпридатнішим для культивування рослин різного екотипу в умовах закритих екосистем. Використання мінеральних і органічних волокон у різних комбінаціях з урахуванням спеціальної підготовки волокнистих складових, а саме – вибору певного режиму подрібнення волокна та його діаметра, а також залучення сучасних технологій для виробництва замінників ґрунту дало можливість розробити велику кількість субстратів з різними фізико-хімічними властивостями. Нині відсутні теоретичні обґрунтування процесів транспорту розчинів у штучних ґрунтах в умовах мікрогравітації. Такі комплексні дослідження можливо здійснити лише за

наявності інертних субстратів із керованими фізичними параметрами. Найприйнятніші для цього волокнисті замінники ґрунту, оскільки при їх конструюванні є можливість здійснити математичне моделювання, що дає змогу прогнозувати фізичні процеси у ґрунтовій екосистемі в умовах невагомості. Особливо важливого значення набувають розробки, пов'язані зі створенням математичних моделей, які описують механізми конвективного руху, дифузії і гідродинамічної дисперсії розчинів у штучних ґрунтах з різними фізико-хімічними властивостями. Розробка структурно-функціональних підходів при конструюванні замінників ґрунту з керованими фізико-хімічними параметрами та дослідження кінетики руху розчинів у пористих матеріалах дали можливість започаткувати космічне ґрунтознавство і розв'язати ряд принципових проблем, які виникають в умовах невагомості, зокрема щодо змінного у часі, просторі і спрямованості характеру вектора масових сил, які виникають на борту космічних апаратів, умов, які створюються на межі "тверда фаза-рідина", динамічних змін у результаті формування кореневої системи.

Вперше встановлено вплив забарвлення волокнистого субстрату на його біологічну активність. Оптимальними для росту і розвитку рослин виявилися субстрати, колір яких охоплює діапазон електромагнітних хвиль видимої частини спектра у межах 450–650 нм. Для удосконалення складу замінника ґрунту досліджувалась його реакція на зовнішні впливи, зокрема на внесення біогенних елементів.

Для забезпечення рослин елементами мінерального живлення при тривалому культивуванні були розроблені нові унікальні органо-мінеральні добрива пролонгованої дії, в яких збалансовано вміст поживних речовин, необхідних для рослинного організму. Важливого значення набувають дослідження ролі кремнію у функціонуванні штучних

біогеоценозів та розробка різноманітних препаратів кремнію, перспективних для впровадження у закриті екосистеми. Припускається, що кремній зменшує негативну дію абіотичних і біотичних стресів, які мають місце в штучних екосистемах.

Запропонований модельний підхід до створення штучних біогеоценозів дає змогу не тільки спостерігати зміни, які відбуваються у часі і просторі в умовах закритої екосистеми, а й дослідити розвиток її структури, диференціацію біотичних блоків, проаналізувати матеріально-енергетичний та інформаційний зв'язок між усіма компонентами, простежити механізми самоконтролю і саморегуляції при невагомості. Вивчення особливостей функціонування культурбіогеоценозів під впливом умов мікрогравітації, визначення порогів чутливості штучної екосистеми до зовнішніх збуджень, пошук шляхів підвищення їх адаптаційної спроможності передбачають подальший розвиток наукових досліджень у галузі космічної біології, що має теоретичне і практичне значення. Результати багаторічних досліджень, гіпотези та теоретичні уявлення Т.М. Черевченко висвітлені в численних вітчизняних і зарубіжних публікаціях, а новизна розробок захищена 21 авторським свідоцтвом на винаходи і патентами. Щиро вітаємо Тетяну Михайлівну зі славним ювілеєм, бажаємо їй нових творчих звершень на ниві вітчизняної науки.

1. Кордюм Е.Л., Ситник К.М., Белявская Н.А. и др. Современные проблемы космической клеточной фитобиологии // Пробл. космич. биол. – М.: Наука, 1994. – 293 с.

2. Ситник К.М., Кордюм Е.Л., Недуха Е.М. и др. Растительная клетка при изменении геофизических факторов. – К.: Наук. думка, 1984. – 135 с.

3. Musatenko L., Generalova V., Negretsky V., Kadenyuk L., Sytnik K. Phytohormones in Astronauts Brassica rapa L. // Gravit. Space Biol. Bulletin. – 1998. – 12, No 1. – P. 45.

К.М. Сьтнік ¹, Е.Л. Кордюм ¹,
Л.И. Мусатенко ¹, Н.В. Заименко ²

¹ Інститут ботаники ім. Н.Г. Холодного
НАН України, Україна, г. Київ

² Национальный ботанический сад
им. Н.Н. Гришко НАН Украины,
Украина, г. Киев

ВКЛАД Т.М. ЧЕРЕВЧЕНКО В
РАЗВИТИЕ КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ

Освещен вклад Т.М. Черевченко в изучение особенностей функционирования искусственных биогеоценозов в модельных экспериментах с использованием клиноставов, герметических камер и в условиях космического полета.

K.M. Sytnik ¹, E.L. Kordyum ¹,
L.I. Musatenko ¹, N.V. Zaimenko ²

¹ M.G. Kholodny Institute of Botany, National
Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kyiv

² M.M. Grishko National Botanical Gardens,
National Academy of Sciences
of Ukraine, Ukraine, Kyiv

CONTRIBUTION OF T.M. CHEREVCHENKO
TO THE DEVELOPMENT OF SPACE BIOLOGY

The results of many years investigation of T.M. Cherevchenko in study of peculiarities of artificial biogeocenosis functioning in the model experiments using clinostate and hermetically sealed container under the conditions of space flight are given.