

Т.М. ЧЕРЕВЧЕНКО, Н.В. ЗАИМЕНКО

Национальный ботанический сад им. Н.Н. Гришка НАН Украины  
Украина, 01014 г. Киев, ул. Тимирязевская, 1

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ИМИТИРОВАННОЙ МИКРОГРАВИТАЦИИ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ У ОРХИДНЫХ РАЗЛИЧНОГО ЭКОМОРФОТИПА

*Показано, что длительное клиностамирование отрицательно влияет на ростовые процессы орхидных. Незначительная стимуляция роста наблюдается после 30-суточного выращивания растений в условиях имитированной микрогравитации. Аналогичная зависимость установлена и при анализе содержания хлорофиллов в листьях растений. При клиностамировании увеличивается количество свободных аминокислот, существенные изменения происходят в распределении ассимилятов в различных органах орхидных. Исследован биохимический состав растений различной морфоструктуры в условиях герметичной камеры. Показано уменьшение уровня свободных аминокислот в органах опытных видов орхидных.*

В год празднования 85-летия создания Национальной академии наук Украины нам хотелось подвести итог более чем двадцатилетней работы по исследованию влияния невесомости и имитированной микрогравитации на рост и развитие различных видов орхидных. Результаты, полученные нами в лабораторных экспериментах на клиностагах и в герметичных камерах, в условиях космического полета, доказывают целесообразность проведения исследований по изучению физиолого-биохимических, биофизических и молекулярно-биологических изменений у орхидных различного экоморфотипа для поиска научно обоснованных путей регулирования биологических процессов при мик-

рогравитации [9, 11]. Определение порогов чувствительности растений к воздействию стресс-факторов в соответствии с их анатомо-морфологическими особенностями и фазами развития предусматривает усовершенствование технологии культивирования различных видов в условиях невесомости, в т. ч. и разработку теоретических основ космической биотехнологии. Изучение общих закономерностей метаболизма растений различной морфоструктуры и экотипа на инертных заменителях почвы в модельных экспериментах с использованием клиностагов и герметичных камер позволяет раскрыть механизмы адаптации растительных организмов к условиям микрогравитации и создать в будущем управляемые экосистемы на борту орбитальных станций.

© Т.М. ЧЕРЕВЧЕНКО, Н.В. ЗАИМЕНКО, 2003



**Материалы и методы исследований.** Объектами исследований были виды тропических и субтропических орхидей различного экоморфотипа: эпифиты с моноподиальным типом ветвления — *Angraecum distichum* Lindl., *A. eburneum* Bory, *Vanda hybrida* Hort., *V. tricolor* Lindl., *V. watsonii* Rolfe, с симподиальным — *Bulbophyllum falcatum* Lindl., *Cattleya hybrida* Hort., *Dendrobium phalaenopsis* Fitzg., *Doritis pulcherrima* Lindl., *Epidendrum radicans* Pav., *Oncidium sphacelatum* Lindl., наземные виды с симподиальным типом ветвления — *Paphiopedilum insigne* (Lindl.) Phitz., *Stenorrhynchus speciosus* L.C. Rich, *Zygopetalum mackaii* Hook., а также *Cymbidium hybrida* Hort., в селекции которого были использованы как эпифиты, так и наземные виды. Эксперименты по изучению влияния имитированной микрогравитации на ростовые процессы и физиологическую активность проводили на горизонтальном и вертикальном клиностатах при скорости вращения 3 об/мин. Растения выращивали на волокнистых заменителях почвы с внесением удобрений пролонгированного действия в количестве 2 г на 1 л почво-заменителя [14]. Опытные виды содержали в условиях клиностатирования и герметичной камеры при температуре 20–22 °С, влажности искусственной почвы 60–70% ПВ и освещенности 1700 лк. Контрольные растения находились в климатической камере при тех же параметрах внешней среды, что и экспериментальные.

Определение активности свободных ауксинов и гиббереллинов осуществляли хроматографическим методом с использованием тестовых культур [2, 3], активность окислительно-восстановительных ферментов — с использованием спектрофотометра Beckman [1], ката-

лазы — йодометрическим методом [5]. Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически по методике Х.Н. Починка [5]. Количество и состав свободных аминокислот исследовали с помощью аминокислотного анализатора Hitachi [4], содержание биогенных элементов в растениях — по методике Г.Я. Ринькиса на атомно-абсорбционном газоанализаторе Selmi [6].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Исследование особенностей роста и развития растений в условиях невесомости имеет как общебиологическое, так и практическое значение для достижения эстетического удовлетворения и психологического комфорта человека, длительное время находящегося в экологически замкнутом пространстве.

Многочисленные эксперименты, проводимые в Национальном ботаническом саду им. Н.Н. Гришко НАН Украины, доказывают, что тропические орхидеи благодаря своим биологическим особенностям являются перспективным объектом для изучения в условиях космического полета [8]. Опыты в области космической ботаники начаты нами в 1979 г., а в 1980 г. оранжерея "Малахит-2" с четырьмя кассетами с орхидеями была помещена на орбитальную станцию "Салют-6". В кассеты были высажены орхидеи в фазе вегетации, бутонизации и цветения, которые на протяжении 60, 110 и 171 суток находились на орбите. Полученные результаты показали, что растения без видимых изменений перенесли нагрузку при выходе корабля на орбиту. Соцветия и цветки полностью сохранили декоративность, однако период цветения существенно сократился, а бутоны, так и не раскрывшись, завяли.

После цветения растения продолжили вегетацию, но интенсивность ростовых процессов была значительно ниже по сравнению с контрольными. Анатомическими исследованиями установлено, что в условиях космического полета процессы дифференциации тканей побегов и корней протекали без серьезных нарушений. Наблюдалось незначительное уменьшение размеров клеток и толщины листовой пластинки, заметная редукция паренхимных тканей. Уменьшение размеров эпидермальных клеток приводило к увеличению количества устьиц на единицу поверхности листа.

В последующем из-за невозможности проведения опытов на орбитальной станции, нами осуществлялись эксперименты на клиностагах, имитирующих микрогравитацию. На первом этапе целью нашей работы было выявление функциональных нарушений фитогормональной системы у тропических и субтропических орхидных различного экоморфотипа. Предварительными опытами было установлено, что эпифитные виды орхидных оказались более устойчивыми при продолжительном пребывании на орбитальной станции, чем наземные виды. Модельные эксперименты на горизонтальном клиностаге показали, что в результате длительного клиностатирования активность нативных стимуляторов роста — свободных ауксинов и гиббереллинов — у эпифитных видов изменяется в меньшей степени, чем у наземных, что наряду с ослабленной геотропической реакцией, очевидно, является одной из причин их выносливости в условиях микрогравитации. Выявлены также существенные отличия в балансе ростактивирующих и ростиингибирующих соединений у орхидных с различным типом ветвления побеговой системы. Показано, что кли-

ностатирование вызывало снижение активности этих соединений у видов с моноподиальным типом ветвления. Возможно, этим объясняется гибель моноподиальных видов во время длительного пребывания на орбитальной станции "Салют" в 1980 г. Кроме того, исследовался фитогормональный статус ювенильных и генеративно зрелых растений с различным морфологическим строением побега. Экспериментально было доказано, что генеративно зрелые эпифитные орхидные с симподиальным типом ветвления побеговой системы и наличием туберидиев наиболее пригодны для дальнейших исследований в длительных космических экспедициях.

На втором этапе исследований нами изучалось кратковременное и длительное воздействие имитированной микрогравитации на распределение ассимилятов в органах орхидных различного экоморфотипа. Впервые установлено, что кратковременное (трехмесячное) клиностатирование приводило к снижению ферментативной активности и нарушению биосинтеза фотосинтетических пигментов у всех опытных видов орхидных. Условия клиностатирования влияли не только на абсолютное содержание пигментов в листьях, но и на их соотношение.

Анализ воздействия имитированной микрогравитации на уровень лабильных углеводов (сахаров и крахмала) показал, что клиностатирование практически не влияло на содержание углеводов в листьях опытных растений. Выявлено лишь незначительное снижение количества дисахаридов (сахароза) и повышение моносахаридов (глюкоза, фруктоза). В туберидиях разница между количеством как сахаров, так и крахмала, у опытных и контрольных растений была достаточно ощутимой. Общее содер-



жание углеводов в опыте приблизительно в 1,5 раза превышала их количество в контроле.

Установлена также определенная закономерность в распределении элементов-биофилов в листьях орхидных. Так, при клиностаტიровании повышалось содержание фосфора, калия, кальция и марганца у наземных видов. Увеличение уровня биогенных элементов, особенно марганца, в наземных органах свидетельствует об ингибировании окислительно-восстановительных процессов, что ведет к нарушению водного режима и преобладанию в субстрате восстановительных процессов. Иная зависимость выявлена у эпифитных видов орхидных: клиностаტიрование приводило к уменьшению содержания макро- и микроэлементов в листьях.

Полученные результаты показали, что кратковременное клиностаტიрование вызывает существенные изменения в составе свободных аминокислот. Отличия в качественном и количественном составе аминокислот обусловлены не только воздействием имитированной микрогравитации, но и видовыми особенностями орхидных. Так, увеличение содержания глутаминовой кислоты и гистидина в листьях наземных видов при клиностаტიровании указывает на наличие водного дефицита, а уменьшение количества глицина, наоборот, о достаточном водообеспечении и о торможении процессов использования кислорода эпифитами. Повышение уровня аргинина в листьях растений свидетельствует о нарушении фосфатного режима и повышении содержания алкалоидов. Снижение количества треонина у опытных видов связано с ингибированием процессов фосфорилирования при синтезе АТФ и блокированием цикла репликации ДНК, увеличение концен-

трации лизина и изолейцина — с цитологическими нарушениями, в первую очередь, с репродукцией хромосом и делением клеток меристемы.

Несколько иная картина наблюдалась при длительном клиностаტიровании. Математический расчет функции роста показал, что 6-месячная имитированная микрогравитация в основном отрицательно влияла на ростовые процессы орхидных. Так, прирост опытных растений в среднем был в 1,3–2,5 раза ниже по сравнению с контрольными. Незначительная стимуляция роста орхидных (в 1,2–1,4 раза) в условиях клиностаტიрования наблюдалась только в начале эксперимента.

Интересные данные получены при сравнительном анализе веса надземной части и корней растений. В частности, вес сырой массы надземной части орхидных после 6 месяцев клиностаტიрования уменьшался по сравнению с контролем в 1,3–1,7, а вес корней, наоборот, увеличивался в 1,8–2,3 раза. Аналогичная зависимость установлена и при исследовании содержания сухого вещества в органах орхидных.

Определенные изменения выявлены и в фотосинтетической активности растений. В листьях орхидных, которые на протяжении одного месяца находились на клиностате, заметно увеличивалось количество хлорофиллов. Так, уровень хлорофилла *a* в листьях опытных растений был в 1,1–1,4 раза выше по сравнению с контрольными растениями, а хлорофилла *b* — в 1,4–2,2 раза. Обратную зависимость наблюдали после 6 месяцев клиностаტიрования: содержание хлорофиллов уменьшалось в среднем в 1,1–1,9 раза. При этом количество каротиноидов в листьях как в начале эксперимента, так и в конце существенно снижалось.



Заслуживают внимания результаты, полученные при анализе содержания пигментов в воздушных корнях *Doritis pulcherrima* после четырехмесячного пребывания растений в условиях невесомости. У опытных растений отмечено 30-кратное увеличение количества хлорофилла *a*, 7- и 10-кратное — соответственно хлорофилла *b* и каротиноидов. Увеличение содержания хлорофилла *b* в воздушных корнях растений в условиях микрогравитации свидетельствует об интенсивном накоплении органической массы и соответствующем увеличении поглощающей и синтетической деятельности корневой системы. В частности, объем корней в опыте достигал 9,8 см<sup>3</sup>, тогда как в наземных условиях — лишь 4,6 см<sup>3</sup>.

В условиях невесомости впервые было показано уменьшение количества и размеров крахмальных зерен, а в ядрах клеток — образование игольчатых кристаллов белка. Мы предполагаем, что это вызвано нарушением водного баланса растений, что приводит к гидролизу крахмала и белка.

Сравнительный анатомический анализ структурной организации тканей и клеток ассимилирующего аппарата листьев опытных видов показал значительные изменения размеров, формы и степени перестройки клеток устьичного комплекса под воздействием как 3-месячного, так и 6-месячного клиностаტიрования. Выявлена тенденция возрастания численности устьиц у орхидных в условиях имитированной микрогравитации [10]. Так, подсчет числа устьиц на единицу площади листа показал следующую закономерность: в опыте их количество у *Paphiopedilum insigne* составляло 30, у *Cymbidium hybridum* — 65, *Dendrobium crumenatum* — 108; в контроле соответственно — 24, 36 и 100.

При этом установлена вариабельность числа открытых и закрытых устьиц: в контроле только 15% устьиц находилось в открытом состоянии (полностью или частично), в опытном варианте, наоборот, большая часть устьиц (85%) открыты. По-видимому, степень открывания устьиц и их количество коррелируют с продолжительностью и интенсивностью стрессовой нагрузки на клетки, неизбежно возникающей при имитированной микрогравитации. Кроме того, в условиях клиностаტიрования наблюдалось заметное уменьшение толщины и плотности кутикулярного воскового слоя. Обнаружены отдельные зоны уменьшения кутикулярного слоя вплоть до исчезновения выростов и гребней, прикрывающих устьица. Выявлены структурно-функциональные изменения клеток мезофильной ткани листьев, тонкой организации хлоропластов.

Существенно изменялось распределение макро- и микроэлементов в вегетативных органах орхидных. Наблюдалось резкое уменьшение количества фосфора, азота и кальция в тканях растений. При этом, выявленное нами увеличение объема корневой системы в условиях микрогравитации может быть связано с нарушением фосфатного обмена в растениях [12]. Аналогичная закономерность наблюдалась и в опытах с другими растениями, например, с *Brassica gara*.

Результаты исследований выявили определенные изменения аминокислотного состава растений. Так, общее содержание свободных аминокислот в листьях опытных видов после 6 месяцев их пребывания на клиностате повышалось по сравнению с контролем в 1,9–2,7 раза (табл. 1). В условиях имитированной микрогравитации заметно увеличивалось содержание треонина,



аргинина, лизина, аспарагиновой и глутаминовой кислот. Особого внимания заслуживают данные анализа содержания пролина в растительных тканях наземного вида *Paphiopedilum insigne*. Его уровень в опытных растениях почти в 100 раз превышает контроль, что свидетельствует о нарушении водного режима. Известно, что свободные аминокислоты в листьях растений в условиях водного дефицита накапливаются [7], т. к. принадлежат к наиболее высокогидрофильным и осмотически активным соединениям. Большинство исследователей рассматривают накопление аминокислот в надземных органах как адаптивную реакцию растительного организма на водный дефицит, что связано с образованием веществ, способных обезвреживать аммиак. Интересно проанализировать резкое увеличение свободных

аминокислот в вегетативных органах орхидных в условиях клиностатирования в аспекте их регуляторной роли в ростовых процессах. В опыте выявлена отрицательная зависимость между интенсивностью ростовых процессов и накоплением в растениях свободных аминокислот. Из литературных источников известно, что увеличение концентрации аргинина и лизина в листьях указывает на нарушение фосфатного обмена, а повышение содержания свободной аспарагиновой кислоты – на ухудшение азотного режима и старение растений [13].

Таким образом, полученные результаты дают возможность усовершенствовать технологию выращивания растений в условиях микрогравитации за счет оптимизации водного режима субстрата и сбалансированности состава

Таблица 1

**Изменение аминокислотного состава листьев орхидных под влиянием длительного клиностатирования, мкг/100 мг сырого вещества**

Аминокислота	<i>Vanda tricolor</i>		<i>Paphiopedilum insigne</i>		<i>Bulbophyllum falcatum</i>		<i>Angraecum eburneum</i>	
	контроль	клиностат	контроль	клиностат	контроль	клиностат	контроль	клиностат
Аспарагиновая	1,2	14,0	7,0	16,7	3,7	32,2	2,7	24,5
Треонин	0,5	4,2	—	2,2	1,7	13,2	0,7	2,2
Серин	5,2	3,5	9,0	3,7	22,5	20,2	11,5	5,2
Глутаминовая	4,7	15,7	18,2	62,0	12,2	50,0	1,2	18,2
Пролин	—	—	0,2	20,7	—	—	—	—
Аланин	6,7	2,0	—	—	8,0	2,5	3,2	0,5
Глицин	4,2	1,2	2,0	0,5	9,0	4,5	13,5	2,8
Цистеин	—	—	9,0	3,7	—	—	—	—
Валин	2,0	0,2	1,0	0,2	—	—	1,0	0,2
Изолейцин	1,5	3,5	—	1,5	0,7	2,7	—	—
Лейцин	7,2	2,7	3,5	—	1,5	1,0	2,2	0,7
Гистидин	9,2	4,5	2,2	1,2	7,2	3,7	5,2	2,0
Лизин	1,5	13,2	0,7	6,7	6,7	21,2	1,6	14,7
Аргинин	0,2	7,2	4,5	19,0	4,5	24,0	1,2	11,5
Всего	44,1	98,4	57,3	138,1	77,7	175,2	44,0	82,5



питательной среды. Для этого необходимо повысить влагоемкость волокнистого субстрата и улучшить его физико-химические параметры посредством использования синтетических волокон, обработанных 0,02–0,03%-м раствором щавелевой кислоты, что позволит значительно увеличить их абсорбционную способность. Кроме того, целесообразно повысить концентрацию азота, фосфора и кальция в составе капсулированных удобрений для предотвращения физиологических нарушений, вызванных недостатком этих элементов. Возможно также экзогенное внесение в субстрат растворов аминокислот 0,001–0,005%-й концентрации для искусственного сбалансирования аминокислотного состава растений для компенсации отрицательного воздействия стресс-факторов на биосинтез аминокислот, регулирующих рост и развитие орхидных в условиях микрогравитации.

Дальнейшее усовершенствование технологии культивирования растений в условиях невесомости невозможно без определения порогов чувствительности орхидных к воздействию замкнутого пространства в соответствии с их морфологическими особенностями. Как показали наши исследования, одним из подходов к моделированию ограниченного пространства космических аппаратов является выращивание растений в герметичных камерах. Поэтому основное внимание мы сосредоточили на определении биохимических изменений у орхидных после 6-месячного пребывания в герметичной камере при низком уровне освещения (400 лк) как одним из наиболее лимитирующих факторов в условиях космического полета.

Для оценки функционального состояния растений были отобраны три наиболее интегральных параметра: содер-

жание фотосинтетических пигментов и углеводов, активность окислительно-восстановительных ферментов. Проведенные нами исследования показали, что содержание пигментов в листьях опытных и контрольных растений существенно отличается. У орхидных после 6-месячного пребывания в гермообъеме наблюдалось увеличение в 1,1–4,4 раза количества хлорофиллов в листьях.

Доказано, что растения *Vanda hybrida* и *Doritis pulcherrima* относятся к фотолабильному типу, поскольку практически одинаковое количество хлорофиллов в листьях опытного и контрольного вариантов свидетельствует об огромной потенциальной возможности их оптического аппарата. Все опытные виды отличались высокой активностью цитохромоксидазы, а *Vanda hybrida* и *Doritis pulcherrima* – также и полифенолоксидазы. Можно предположить, что за синтез зеленых пигментов в листьях этих видов в условиях гермообъема отвечают ферменты, содержащие медь, в частности полифенолоксидаза, которые, включаясь в процессы дыхания, поддерживают на определенном уровне синтез хлорофилла во время стрессовой ситуации. Роль цитохромоксидазы – фермента, содержащего железо – в синтезе зеленых пигментов заключается в участии в образовании различных предшественников хлорофилла, являющихся также и компонентами ферментных систем, участвующих в формировании хлорофилл-белкового комплекса. Условия гермообъема влияли определенным образом и на содержание лабильных углеводов как в листьях, так и в туберидиях. Наблюдалось резкое снижение количества сахаров в вегетативных органах всех опытных видов и незначительное повыше-



ние уровня крахмала в листьях ванды и доритиса. Это, очевидно, можно объяснить изменениями в активности процессов фотофосфорилирования, которые наблюдаются на фоне низкого уровня освещенности.

Сравнительный анализ прироста биомассы опытных видов орхидных в условиях гермообъема и контроля показал, что длительное пребывание растений в герметичной камере отрицательно сказывалось на ростовых процессах. Так, прирост биомассы *Cattleya hybrida* и *Oncidium sphacelatum* в опыте уменьшился по сравнению с контролем соответственно на 157 и 238%. Для *Vanda hybrida* и *Doritis pulcherrima* эти показатели соответственно составляли 6,3 и 6,9%. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии микроклимата герметичной камеры на физиолого-биохимические процессы

орхидных и позволяют наметить пути повышения адаптационной способности растений. В последующих исследованиях необходимо подобрать такой уровень освещенности в герметичной камере, который позволил бы создать оптимальные условия для роста и развития орхидных различного экоморфотипа. В свою очередь, дополнительное введение меди в питательную среду будет способствовать повышению адаптации растений к недостаточному освещению.

Для разграничения влияния невесомости и микроклимата гермообъема на рост и развитие растений был проведен сравнительный анализ их биохимического состава после 24-месячного пребывания в условиях герметичной камеры и 12-месячного клиностатирования. Впервые определены пороги чувствительности орхидных к воздействию микроклимата гермообъема и длительного

Таблица 2

**Содержание элементов минерального питания в разных органах орхидных после 24-месячного пребывания в герметичной камере**

Вид	Орган растения	Макроэлементы, %; микроэлементы, мг/кг золы								
		N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
Контроль										
<i>Doritis pulcherrima</i>	Лист	3,0	0,54	2,3	1,10	0,27	108,4	53,8	18,6	39,5
	Корень	1,7	0,37	2,5	0,93	0,31	97,5	51,2	13,6	34,9
<i>Angraecum eburneum</i>	Лист	3,6	0,49	2,6	2,60	0,16	143,6	49,3	14,3	49,1
	Корень	2,9	0,26	2,0	0,76	0,25	132,1	45,1	11,2	41,2
<i>Epidendrum radicans</i>	Лист	3,4	0,69	4,2	0,99	0,23	84,3	92,3	21,3	33,7
	Корень	3,6	0,27	2,1	0,46	0,17	75,4	48,4	17,3	23,0
Герметичная камера										
<i>Doritis pulcherrima</i>	Лист	3,8	0,42	4,9	0,87	0,21	93,9	68,7	14,3	32,7
	Корень	2,4	0,31	3,0	0,82	0,19	75,6	62,2	10,8	25,4
<i>Angraecum eburneum</i>	Лист	4,5	0,37	3,8	0,58	0,14	127,3	64,7	9,7	35,8
	Корень	3,3	0,24	2,4	0,45	0,17	115,8	57,3	8,2	29,1
<i>Epidendrum radicans</i>	Лист	2,5	0,32	1,4	0,47	0,20	75,9	63,8	19,3	30,5
	Корень	2,8	0,20	1,9	0,39	0,15	68,3	39,5	15,1	20,9
$HCP_{0,05}$		0,1	0,03	0,2	0,07	0,02	19,8	7,5	0,92	1,4





клиностагирования в зависимости от их морфологических особенностей. Показано, что для моноподиальных видов по сравнению с симподиальными характерно увеличение в тканях листьев и корней содержания азота, калия и марганца, повышение концентрации хлорофиллов, снижение уровня свободных аминокислот (табл. 2).

Иная зависимость наблюдается у растений в условиях 12-месячного клиностагирования. Так, при длительной имитированной микрогравитации повышается количество свободных аминокислот, уменьшается содержание фосфора, калия и кальция в тканях орхидных. При этом данная закономерность наблюдается у растений независимо от особенностей их морфологического строения.

Для создания биологических систем жизнеобеспечения человека при длительном пребывании в космическом полете необходимо было исследовать структурно-функциональную организацию замкнутой экосистемы и провести детальный анализ взаимодействия внешней среды со всеми ее формирующими звеньями, а именно: заменителем почвы, удобрениями и растениями. Полученные результаты свидетельствуют о наличии двух возможных причин, вызывающих угнетение роста и развития растений в условиях невесомости: во-первых, несовершенство технологии культивирования различных видов и отсутствие оптимальных заменителей почвы; во-вторых, токсичное воздействие на растения микропримесей атмосферы космических аппаратов. Поэтому в будущем мы планируем изучить общие закономерности жизнедеятельности высших растений в искусственно созданных биогеоценозах при имитированной микрогравитации для раскры-

тия механизмов самоконтроля и саморегуляции растительных организмов в условиях невесомости.

1. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. — М.: Высш. школа, 1975. — 440 с.
2. Кефели В.И. Природные ингибиторы роста и фитогормоны. — М.: Наука, 1976. — 247 с.
3. Муромцев М.С., Агнестикова В.Н. Гиббереллины. — М.: Наука, 1984. — 125 с.
4. Новые методы анализа аминокислот, пептидов и белков / Под ред. В.П. Овчинникова. — М.: Мир, 1974. — 124 с.
5. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. — К.: Наук. думка, 1976. — 333 с.
6. Ринькис Г.Я., Ноллендорф В.В. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. — Рига: Зинатне, 1982. — 174 с.
7. Ткачук Е.С. Физиология водопотребления при оптимизации минерального питания растений. — К.: Наук. думка, 1986. — 167 с.
8. Червченко Т.М., Заименко Н.В. Космічна наука і технологія. — 1998. — № 5, 6. — С. 141–147.
9. Червченко Т.М., Майко Т.К., Богатырь В.Б., Косаковская И.В. Космическая наука и биотехнология. — К.: Наук. думка, 1986. — С. 41–54
10. Cherevchenko T.M., Zaimenko N.V. Effect of microgravitation on physiological-biochemic processes in orchids of different ecotypes // J. Gravitational Physiol. — 1998. — 1. — P. 159–160.
11. Cherevchenko T.M., Zaimenko N.V., Martynenko O.I. Effect of microgravity on biology of development and physiological biochemical peculiarities of orchids with different morphoecotypes // Proceeding of the First International Symposium on microgravity researches. — Sorrento (Italy), 2000. — P. 191–197.
12. Gahoonia T.S., Nielsen N.E. Root demographics and their efficiencies in sustainable



agriculture, grasslands and forest ecosystems. — Dordrecht—Boston—London: Kluwer Academic Publ., 1996. — P. 331—344.

13. Van Heerden P.D.R., De Villiers O.T. Evolution of proline accumulation as an indicator of drought tolerance in spring wheat-cultivars // Afr. J. Plant and Soil.— 1996. — 1. — P. 17—21.

14. Zaimenko N., Cherevchenko T., Rusin G. Structural and functional aspects of artificial soil construction // Remediation engineering of contaminated soils. — Marcel Dekker, New York—Basel, 2000. — P. 489—503.

#### ВПЛИВ ІМІТОВАНОЇ МІКРОГРАВІТАЦІЇ НА ФІЗІОЛОГО-БІОХІМІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ОРХІДНИХ РІЗНОГО ЕКОМОРФОТИПУ

*Т.М. Черевченко, Н.В. Заїменко*

Національний ботанічний сад  
ім. М.М. Гришка НАН України,  
Україна, м. Київ

Показано, що тривале кліностатування негативно впливає на ростові процеси орхідних. Незначна стимуляція росту спостерігається після 30-добового вирощування в умовах імітованої мікрогравітації. Аналогічна залежність виявлена і при аналізі вмісту хлорофілів у листках рослин. В умовах кліностатування

збільшується кількість вільних амінокислот, істотні зміни відбуваються в розподілі асимілятів в різних органах орхідних. Досліджено біохімічний склад рослин різної морфоструктури в умовах герметичної камери. Показано зменшення рівня вільних амінокислот в органах дослідних видів орхідних.

#### INFLUENCE OF MICROGRAVITY ON PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL TRANSFORMATION OF ORCHIDS DIFFERENT MORPHOECOTYPES

*T.M. Cherevchenko, N.V. Zaimenko*

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

Negative influence of long-term clinostation on the orchids growth processes has been shown. The negligible growth simulation was observed after 30-day cultivation. The analogous dependence was observed when chlorophyll's contains in leaves of orchids was analyzed. Clinostation causes increase of free amino acids number compared with the control. Macro- and microelements in the orchids vegetative organs also changed considerably. Biochemical content of orchids with different morphological structure was examined under the conditions of hermetically sealed cabin. It was determined that photosynthetic pigment content increased and free amino acids quantity decreased.