

УДК 58.031'037

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РАСТЕНИЙ  
ПРИ ЭЛЕКТРОВОЗДЕЙСТВИИ В УСЛОВИЯХ ГИПОГРАВИТАЦИИ**

**А. М. ГОРДЕЕВ, А. Л. МАШИНСКИЙ, Н. В. МЕЛЬНИКОВ, К. В. СОЛОМАТИН,  
Н. И. ПРУТЕНСКАЯ, Г. А. РОМАНОВА**

**(Кафедра физиологии растений)**

При отсутствии гравитационного стимула высшие растения развиваются неудовлетворительно вследствие серьезных нарушений физиологических процессов. В статье показано, что воздействие в этих условиях слабым электрическим полем на корнеобитаемую зону оказывает существенное положительное влияние на темпы роста растений и перераспределение в них элементов питания. При этом усиливается выделительная функция корневой системы, приближается к норме соотношение ингибиторов и стимуляторов роста в питательном субстрате.

Сила тяжести, в условиях которой проходила эволюция растений, имеет для них жизненно важное физиологическое значение. Она привела к возникновению систем, способных воспринимать действие этой силы и в последующем определять ростовые процессы, обусловила пространственную ориентацию и эволюцию ряда анатомо-морфологических особенностей растений [7, 10]. На биоспутниках и орбитальных станциях, где все острее становится проблема выращивания высших растений, из-за отсутствия гравитации последние развиваются неудовлетворительно. К настоящему времени накоплены многочисленные экспериментальные данные, свидетельствующие о неблагоприятном влиянии факторов космического полета, и прежде всего невесомости, на физиолого-биохимические процессы на организменном, клеточном и субклеточном уровнях [1, 8, 9].

Недавно было высказано предположение, что одной из основных причин угнетения растений в условиях невесомости является нарушение их полярности вследствие отсутствия необходимых градиентов гравитационного и электромагнитных полей [2]. Последнее, обладая существенной поляризующей способностью [3], оказывает значительное влияние на транспорт минеральных веществ и фитогормонов [6], за счет поляризации мембраны улучшает ее ионную проницаемость [4],

изменяет обмен веществ [5], активизирует рост и развитие растений [11]. В определенных условиях электрическое поле оказывает воздействие на растение подобно полю гравитации, в частности приводит к удваиванию общей площади ER комплекса по сравнению с контролем, а также к оседанию амилопластов [12]. Вопросам эффективности воздействия на растения слабым электрическим полем в условиях гипогравитации и посвящена настоящая работа.

### Методика

Опыты проводились на орбитальных станциях «Салют-6», «Салют-7» и на имитирующих невесомость горизонтальных клиноштатах с медленным вращением (1,8—2 об/мин) в 2—3-кратной повторности. Растения выращивали в цилиндрических и квадратных сосудах из полистирола емкостью 0,23—1 л. В качестве субстрата использовалась искусственная почва ИС-2 на ионитных смолах, изготавливаемая в Институте неорганической химии АН БССР. Оптимальная влажность субстрата (70 % полной влагоемкости) поддерживалась путем дозированного полива специальными устройствами. Освещенность обеспечивалась люминесцентными лампами с регулированием периодичности светового облучения программным устройством. Продолжительность фотопериода 16 ч при мощности облучения 80 Вт/м<sup>2</sup>. Для электростимуляции применялись сухие гальванические элементы. Регулирование на-

пряжения осуществлялось потенциометром (в корнеобитаемой зоне разность потенциалов составляла 400—500 мВ). Электроды из углеродной ткани УУТ-2 укладывались на дно сосуда и на поверхность субстрата. В опытах проводили биометрические наблюдения, физиологические, биохимические и другие анализы растений и субстрата. В растительных образцах содержание азота определяли по Кудеярову, фосфора — по Труогу, калия — на пламенном фотометре по Петербургскому, микроэлементов — на атомно-абсорбционном спектрофотометре, аминокислот — методом хроматографии на бумаге. Соотношение стимуляторов и ингибиторов устанавливали методом хроматографического разделения экстрактов из растительного материала с последующей оценкой степени стимуляции и торможения по отдельным зонам хроматограммы при помощи биологических тестов.

### Результаты

В условиях невесомости и в адекватных условиях лаборатории на клиноштатах эффективность электростимуляции проявилась на всех этапах развития растений. При наличии слабого постоянного электрического поля в корнеобитаемой зоне возрастала всхожесть семян, нормализовалась ориентация роста корней в сторону субстрата, ускорялись развитие и рост растений. Например, в 25-дневном эксперименте на станции «Салют-6» площадь листьев гороха при электростимуляции была выше контрольной на 28—30 %. Примерно таким же было действие электростимуляции на растения, выращиваемые в клиноштате (табл. 1).

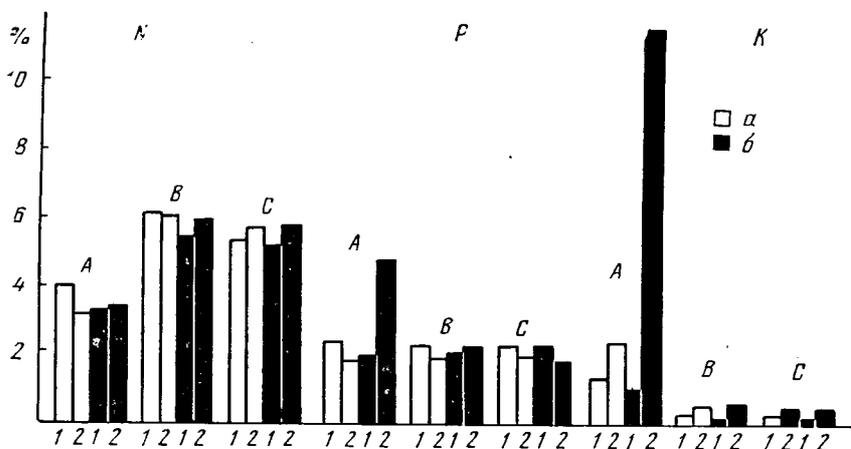
Растения в условиях гипогравитации значительно отличались от культивируемых в обычных лабораторных условиях по химическому составу. В них было намного меньше азота, а калия больше: в стеблях — в 4,7 раза, в корнях — в 6 раз. При клиноштатировании растений содержание в них P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O оказалось примерно таким же, как и при выращивании в обычных условиях, а содержание азота — несколько больше.

Электростимуляция существенно улучшала распределение элементов питания в органах растений, особенно при выращивании в невесо-

Т а б л и ц а 1

Влияние электростимуляции на некоторые биометрические показатели гороха (среднее из 6 определений)

Условия выращивания	Высота растений, мм			Площадь листа, мм		
	контроль	электростимуляция	% к контролю	контроль	электростимуляция	% к контролю
Невесомость	89,7±1,7	116,7±1,9	130	50,9±1,1	64,9±1,4	128
Клиноштат	122,5±2,2	163,8±5,6	134	212,3±6,5	282,1±8,3	134
Обычные	138,5±4,1	140,8±4,9	102	242,6±7,2	255,6±6,9	105



Влияние электровоздействия на содержание N, P и K в корневой (1) и надземной (2) частях гороха (% на сухое вещество).  
 A — летные условия; B — клиностагирование; C — обычные стационарные условия; а — контроль; б — электростимуляция.

мости (рисунок). В этом случае в надземной части увеличивалось содержание элементов питания, прежде всего калия и фосфора. В корнях же содержание азота, фосфора и калия значительно снижалось. Это свидетельствует, что в невесомости затруднен транспорт ионов из корней в стебли и листья и его можно активизировать электростимуляцией.

Электростимуляция оказывала существенное влияние на некоторые биохимические процессы в растительном организме. Если в ионитной почве под горохом в обычных условиях содержались только аспарагин, аспарагиновая кислота, глицин и глутаминовая кислота, то в субстрате при выращивании этой культуры на клиностаге дополнительно появлялись гистидин, лизин и пролин (табл. 2). Следовательно, в условиях гипогравитации усиливаются выделительные функции корней. Еще больше

Таблица 2

Качественный состав аминокислот  
 в ионитной почве под разными культурами

Аминокислота	Горох			Огурец			Арабидопсис			Земляника		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Аспарагин	+		+	+		+	+	+	+	+	+	+
Аспарагиновая	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Аланин											+	
Аргинин				+		+			+			
Глицин	+	+	+	+	+	+						+
Глутамин			+				+	+				+
Глутаминовая	+	+	+	+	+	+	+	+			+	
Гистидин		+	+			+			+			
Лейцин			+	+					+			+
Лизин		+	+		+				+			
Лейцин + изолейцин			+									+
Метионин												+
Орнитин			+						+	+		+
Оксипролин											+	
Пролин		+	+			+		+	+	+	+	+
Серии						+						+
Треонин			+			+		+	+		+	+
Тирозин						+						+
Триптофан												+
Фенилаланин			+									

Примечания. 1. 1 и 2 — без электростимуляции, соответственно стационарные и клиностагируемые условия, 3 — электростимуляция при клиностагировании. 2. Аминокислота и валин не обнаружены.

аминокислот накапливалось в субстрате при электростимуляции. Подобная закономерность наблюдалась и при выращивании огурца, арабидопсиса и земляники.

Полученные данные подтверждают результаты экспериментов, проведенных некоторыми исследователями на орбите. По данным [8], при длительном выращивании в условиях невесомости у растений существенно изменяется синтез важных биологических соединений. Так, в листьях пшеницы после 24—33 сут пребывания в космических условиях содержание хлорофилла и лютеина уменьшилось на 30—35 % по сравнению с контролем (обычные условия), белковых веществ — на 15 %, крахмала — на 32 %, а содержание каротиноидов, моносахаридов и гемицеллюлозы — соответственно на 26, 29 и 11 %. Содержание РНК и ДНК в конусе нарастания пшеницы космического варианта было вдвое меньше, чем в аналогичных условиях на Земле. Высказано предположение, что в условиях невесомости нарушается механизм отвода продуктов жизнедеятельности растений, которые выделяются в окружающую среду.

В наших исследованиях слабое электрическое поле в корнеобитаемой зоне положительно влияло на соотношение стимуляторов и ингибиторов роста в субстрате. Причем при выращивании гороха это было наиболее ярко выражено в фазу цветения. Если при клиностаტიровании содержание растактивирующих гормонов сильно снижалось, а ингибиторов увеличивалось, то электростимуляция приводила их соотношение к тем параметрам, которые характерны для нормально развивающихся растений в обычных условиях.

Электростимуляция способствовала значительному увеличению содержания хлорофилла и каротина у растений, выращиваемых при отсутствии гравитационного фактора. Например, у 25-дневных растений огурца в контрольном варианте хлорофилла содержалось 1,06, каротина — 0,63 мг/л, а при электровоздействии на корнеобитаемую зону — соответственно 1,64 и 1 мг/л.

## Заключение

При отсутствии гравитационного стимула (в космических условиях и при клиностаტიровании) высшие растения развиваются с большими отклонениями от нормы вследствие серьезных нарушений многих жизненно важных физиологических процессов.

Воздействие на корнеобитаемую зону слабым электрическим полем, близким к естественному в почве, нормализует в условиях невесомости передвижение ионов в растениях, увеличивает содержание хлорофилла и каротина в листьях, усиливает выделительные функции корневой системы, приближает к норме соотношение ингибиторов и стимуляторов роста в субстрате, способствует росту и развитию растений.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Биологические исследования на орбитальных станциях «Салют». — М.: Наука, 1984, с. 60—112. — 2. Гордеев А. М. и др. Влияние электрохимического поля на направление роста растений. — Научно-техн. бюл. по электрификации сельск. хоз-ва. М.: ВИСХ, 1980, вып. 2 (41), с. 29—32. — 3. Дубинин Н. А., Ваулина Э. Н. Эволюция и гравитация. — М.: Наука, 1979, с. 11—15. — 4. Кульский А., Савлук О. С. Влияние электрического поля на электрокинетические свойства мембран в присутствии дезинфектантов. — Докл. АН УССР, сер. биол. 1983, № 7. — 5. Луткова И. Н., Олешко П. М. Изменение обмена веществ в прорастающих семенах кукурузы под воздействием электрического тока. — Влияние физико-химических факторов на растит. организмы. Тамбов, 1974, с. 49—62. — 6. Медведев С. С. Влияние электрических градиентов и фитогормонов на рост и транспорт минеральных веществ у проростков кукурузы. — Автореф. канд. дис. Л., 1975. — 7. Меркис А. И. Значение силы тяжести в ростовых процессах растений. — Проблемы космической биологии, т. XXXIII (гравитация и организм). М.: Наука, 1976, с. 14—147. — 8. Ситник К. М., Мусатенко Л. И. Зашіти нуклеіових кислот прорктив пшениці в умовах космічного польоту — Доп. АН УССР, сер. Б., 1980, № 12, с. 76—78. — 9. Ситник К. М., Кордюм Е. Л., Недуха Е. М. и др. Растительная клетка при изменении геофизических факторов—

Киев: Наукова думка, 1984, с. 107—116.—  
**10.** Га и р б е к о в М. Г., Парфенов Г. П.  
Поведение клетки в гравитационном поле.—  
Успехи современной биологии, 1983, т. 96,  
вып. 3 (6), с. 426—427,— **11.** Ellis H. W.,

Turner E. R. — Sci. Prog. Oxf., 1978,  
vol. 65, p. 395—407. — **12.** B r a u n e r K.,  
Bunni B. — Ber. Dtsch. Bot. Ges., 1930,  
vol. 48, p. 470—476.

Статья поступила 10 февраля 1987 г.

### SUMMARY

Higher plants develop badly without gravitational stimulus because of considerable disturbances of physiological processes. It is shown that under these conditions the action of weak electrostatic field on the root zone produces essential positive effect on growth rate of plants and on redistribution of nutrient elements in them. The secretory function of the root system gets more intensive, and the relation of growth inhibitors and growth stimulators in the substrate approaches the standard.