

**О ПИТАНИИ ТОМАТОВ, ВЫРАЩИВАЕМЫХ
В АЭРОПОНИКЕ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ**

З. И. ЖУРБИЦКИЙ, Д. В. ШТРАУСБЕРГ, И. А. МУРРЕЙ

Выращивание растений, особенно овощных культур, на искусственных средах находит все более широкое применение в производственных условиях.

В качестве искусственных сред для выращивания растений применяются чаще всего твердые субстраты, весьма разнообразные по составу, физическим свойствам и происхождению — керамзит, перлит, вермикулит, различные виды гравия и туфов и многие другие. Гидропоника на твердых субстратах имеет ряд существенных преимуществ перед выращиванием растений в почве: отсутствие сорняков и снижение заболеваемости, возможность более редкой смены субстрата, более полного и рационального использования вносимых удобрений, возможность частичной замены ручного труда механизированным. Тем не менее в гидропонике на твердых субстратах часто наблюдается заражение субстрата, очень трудоемки завоз субстрата и обработка его между ротациями.

Эти недостатки почти полностью устраняются при выращивании растений в водной культуре. Однако существенное препятствие для широкого использования водной гидропоники в практических целях заключается в необходимости усиленной аэрации питательного раствора, к которой чрезвычайно чувствительны растения. Это затруднение снимается при выращивании растений в условиях воздушной гидропоники — «аэропоники».

Впервые выращивание растений с корнями в воздухе при периодическом опрыскивании их питательным раствором было предложено Арциховским [1] еще в конце прошлого столетия. И хотя метод был впервые опубликован в 1911 г., Тимирязев упоминал о нем уже в своей публичной лекции, прочитанной в марте 1897 г. [2].

Сравнивая этот способ выращивания растений с обычным продуванием питательного раствора водной культуры, К. А. Тимирязев оценивает его как не имеющий смысла и усложняющий дело. Для конца прошлого столетия это была справедливая оценка. Но метод Арциховского дождался своего века — века автоматизации. Теперь при полной автоматизации подачи растворов для опрыскивания аэропоника становится самым прогрессивным способом выращивания растений на искусственных средах. Аэропоника совмещает в себе достоинства гравийной и водной гидропоник и имеет ряд преимуществ перед ними. Корни растений находятся в идеальных условиях аэрации. Не нужен большой объем воды и тем более громоздкие твердые субстраты. В связи с этим достаточно легких кювет для корней и раствор используется с максимальной продуктивностью. Исключается возможность передачи болезней через субстрат. Но в связи с тем, что возможность автоматизации процессов подачи растворов, а следовательно, и применения аэро-

поники появилась сравнительно недавно, этот многообещающий, но мало разработанный метод почти не вышел еще из стен научно-исследовательских учреждений, хотя над изучением и совершенствованием его работают как в Советском Союзе, так и за рубежом [3—14].

Возникает большой круг вопросов, от правильного решения которых зависит эффективность применения аэропоники и реализация ее преимуществ по сравнению с другими методами выращивания растений на искусственных средах.

1. Необходимо выяснить оптимальные для выращивания растений и экономичные в работе автоматических устройств интервалы между опрыскиваниями и продолжительность самих опрыскиваний (первое более существенно, так как сильнее отражается на состоянии растений и на изнашивании автоматических устройств).

2. Чрезвычайно важно знать оптимальную степень распыления питательного раствора, которая играет огромную роль в развитии корневых систем, а следовательно, и в условиях реализации питания растений.

Эти два вопроса должны решать биологи совместно с инженерами.

3. Повышенная аэрация корневых систем в условиях аэропоники, безусловно, влечет за собой физиологические изменения в корневых системах, а следовательно, и в целом растении. Эти изменения должны быть изучены и учтены при выращивании высокоурожайных растений в аэропонике.

4. Как выражение своеобразия взаимоотношений корневых систем с питательным раствором возникает вопрос об особенностях питания растений в условиях аэропоники — концентрации питательного раствора, соотношения питательных элементов в питательном растворе и в растениях в различные периоды развития растений.

Изучение особенностей питания растений в условиях аэропоники явилось задачей исследований, первые результаты которых излагаются в настоящей работе, проведенной на Станции искусственного климата Института физиологии растений им. К. А. Тимирязева.

Установка для аэропоники в кондиционируемых камерах, сконструированная одним из авторов и использованная в настоящей работе, состоит из кюветы для выращивания растений, бака с питательным раствором и насоса для подачи питательного раствора в кювету. Зазор между кюветой и стенками камер составляет 20 мм по периметру.

Кювета для выращивания растений емкостью 150 л выполнена из винипласта толщиной 10 мм и имеет наибольшую глубину 250 мм, а наименьшую — 200 мм. Такой уклон дна кюветы обеспечивает слив питательного раствора в бак. Крышка кюветы площадью 0,8 м² имеет четыре ряда посадочных гнезд — по пять гнезд в каждом ряду. В промежутках между рядами под крышкой установлены форсунки для разбрызгивания питательного раствора. Расположение посадочных гнезд относительно форсунок обеспечивает однородность условий опрыскивания корневой системы каждого растения. Форсунка представляет собой сопло с внутренним диаметром 2 мм, из которого под давлением 1,2 атм подается раствор. Сопло форсунки расположено на расстоянии 30 мм от крышки. Попадая на специальную тарелку с насечкой, струя разбивается на мелкие капельки, которые оседают на корнях растений. Питательный раствор не задерживается на корнях и стекает в бак для хранения. Тарелки завинчены в крышку и при необходимости могут быть сняты для прочистки форсунок. Такое крепление тарелок целесообразно в связи с тем, что исключает необходимость подъема крышки с растениями, корни которых переплетаются с трубами, подающими питательный раствор.

Крышка и вся кювета покрыта белой полихлорвиниловой краской и имеют коэффициент отражения 0,95, что позволяет существенно ограничить приток тепла от ламп внутрь кюветы и улучшает освещенность растений.

Растения укрепляются между кусочками пемзы в специальных стаканчиках из винипласта.

Бак для хранения питательного раствора имеет емкость 75 л. Питательный раствор подается из бака в кювету через штуцер, расположенный на левой стенке бака. Штуцер помещен на высоте 60 мм от дна бака, что позволяет забирать питательный раствор без корешков растений и других инородных тел, оседающих на дно. На этой же стенке на расстоянии 50 мм от крышки бака расположен штуцер для слива раствора из кюветы. Между штуцерами располагаются трубки из нержавеющей стали, по которым циркулирует охлаждающий рассол. Количество рассола, поступающего в трубки, регулируется краном и подбирается таким образом, чтобы температура была на 2° ниже заданной, а нагреватели, установленные в баке, с помощью электроконтактного термометра доводят температуру раствора до заданного значения. В крышке бака укреплены четыре форсунки, предназначенные для перемешивания питательного раствора сжатым воздухом. Сжатый воздух предварительно очищается, проходя через угольный фильтр. Перемешивание раствора осуществляется при его приготовлении, при корректировке состава раствора или его pH.

Опыты проводились на установках с кондиционированным воздухом и без кондиционирования, однако в довольно стабильных условиях освещения и температуры (установки расположены в подвальном помещении).

Для исследовательских целей выращивание растений в стабильных условиях освещенности и температуры, несомненно, целесообразно, так как дает возможность сравнивать опыты, проведенные в разное время. Даже на первых этапах работы установок на них были получены сравнительно близкие по величине урожаи (табл. 1), чего обычно не получается в теплицах с сильно колеблющимися температурой воздуха и естественным освещением. Данные табл. 1 свидетельствуют, что внутри групп опытов, условия проведения которых были достаточно близкими,

Таблица 1
Урожай плодов томатов в различных опытах, кг/м²

Группа опытов	Условия проведения опытов	Опыт	Вес плодов с 1 м ² каждого опыта	Средний урожай из опытов каждой группы
I	Установка с кондиционированным воздухом, <i>t</i> днем 22°, ночью 14°, 25 раст/м ²	1	16,1	16,7±1,4 P=8,4%
		2	15,7	
		3	18,3	
II	Установка без кондиционирования, <i>t</i> днем 25°, ночью 18°, 18 раст/м ²	4	12,3	12,9±0,52 P=4,03%
		5	13,2	
		6	13,2	
	Установки без кондиционирования, <i>t</i> днем 25°, ночью 18°, 34 раст/м ²	7	13,6	14,7±1,55 P=10,5%
		8	16,6	
		9	14,6	

соответственно были получены очень близкие урожаи плодов. Общий вид установки с плодоносящими растениями можно видеть на рис. 1.

Корни растений во всех опытах опрыскивались по 10—20 сек. с интервалами между опрыскиваниями 20 мин. мелкими брызгами питательного раствора. Раствор из кюветы стекал обратно в бак в течение 2—3 мин. Останавливаясь на этих условиях проведения опытов, мы руководствовались данными Мураша [4, 5] и результатами своих предварительных опытов.

Но так как разработки И. Г. Мураша также нельзя считать окончательными, то условия проведения настоящих опытов (продолжительность опрыскивания, интервалы между ними и величина частиц при опрыскивании) не следует считать оптимальными, они приняты за изменение более точных данных.



Рис. 1. Общий вид установки с плодоносящими растениями

Работа проводилась с южным сортом томатов для открытого грунта Азербайджанский, семена которого были получены от научного сотрудника Али-Заде из Сельскохозяйственного института г. Кировабада.

Это низкорослый сорт, растения которого в искусственных условиях нашего фитотрона под зеркальными лампами накаливания типа ЗН-8 достигали 40—55 см высоты, не более, при оставлении трех кистей у одноствольной культуры и четырех кистей у двустовольной культуры. Кисти, следующие за первой, появлялись через один лист и благодаря этому полностью формировались за одну неделю. Окончательная уборка урожая производилась на 70—75-й день после появления всходов и на 63—65-й день после высадки проростков в установки аэропоники, т. е. период вегетации по сравнению с естественным освещением в теплице и тем более в открытом грунте даже для скороспелых сортов сокращен по меньшей мере в два раза. При уборке было около 50% зрелых плодов, а остальные плоды полностью дозревались.

Для выращивания растений были использованы соли питательной смеси Хогленда — Арнона [15], не содержащие балластных ионов и дающие большие возможности варьирования концентраций. Соотношения же и количества питательных элементов в питательной смеси устанавливались по Журбицкому [16] — в соответствии с потребностями данной культуры в конкретных условиях выращивания. рН питательного раствора поддерживалась на уровне 4,8—5,0.

В настоящих опытах потребность растений в смене соотношений питательных элементов в питательном растворе по нашим данным разделялась на три периода. Первый период — рассадный, второй — от бутонизации до конца цветения и последний, третий, период начинающийся

с концом цветения и заканчивающийся созреванием плодов. В соответствии с теми же периодами изменялись и концентрации питательных солей. На протяжении первого периода концентрации N, P и K в одних опытах варьировали от 10 до 20 *мэкв/л*, в других — от 15 до 45 *мэкв/л*. На протяжении второго периода концентрации N, P и K в одних опытах повышали по мере роста и развития растений от 30 до 40, в других — от 30 до 60 и в третьих — от 40 до 90 *мэкв/л*. Концентрации веществ в последний период регулировали в зависимости от поведения растений, обусловленного их питанием в предшествующий период, т. е. снижением поглощения у растений, получавших в предшествующий период высокий уровень питания, и отсутствием этого снижения у растений, получавших в предшествующий период сравнительно низкий уровень питания. Такая зависимость поглощения растениями питательных элементов в период налива плодов и их созревания от уровня питания в предшествующий период хорошо видна в табл. 2.

Таблица 2

Поглощение NPK растениями в период налива и созревания плодов (последние две недели вегетации) в зависимости от концентрации этих веществ в питательном растворе в предшествующий период, *мэкв/л*

Максимальная концентрация питательного раствора в период от бутонизации до конца цветения	Бутонизация — конец цветения		Палив плодов — созревание	
	внесено	поглощено	внесено	поглощено
40	153,89	88,86	146,27	76,93
60	224,88	94,48	148,32	43,45

В случае доведения максимальных концентраций питательного раствора до 60 *мэкв/л* в период бутонизации и цветения, поглощение в последующий период падает почти вдвое по сравнению с вариантом, где максимальные концентрации достигали только 40 *мэкв/л* в период бутонизации и цветения (урожай обоих вариантов опыта был равен 13,5 *кг/м²*). Исходя из этого, при достаточно высоком уровне концентраций питательного раствора в период бутонизации и цветения концентрации питательного раствора в последний период развития растений в дальнейшем снижались до уровня 20—25 *мэкв/л*.

Положение о том, что с повышением дозы удобрений увеличивается потребление питательных элементов и урожай плодов, многократно проверено и вполне оправдывается в условиях полевого опыта, в пределах рациональных доз удобрений при правильном соотношении питательных веществ. В водной культуре сравнительно низкие концентрации питательных элементов являются оптимальными для роста растений и поглощения питательных элементов, поэтому легко могут быть созданы завышенные концентрации питательного раствора, уже не оказывающие положительного влияния на рост растений и урожай.

Как известно из литературы [14], растения в аэропонике переносят значительно более высокие, чем в водной культуре концентрации солей питательного раствора, не проявляя внешних признаков страдания. Подобная картина наблюдалась и в наших опытах: сильное повышение концентраций не влекло за собой признаков угнетения растений. Однако поглощение питательных веществ в этих условиях снижается, и, следовательно, повышение концентрации питательных солей излишне. Поэтому особенно важно установить верхние пределы концентраций питательных веществ в аэропонике. Вопрос осложняется тем, что мы имеем дело не с текущими культурами, в которых концентрация питательного раствора на том или ином уровне поддерживается постоянной, а с питанием растений из определенного исходного объема питательного рас-

твор, который только пополяется ежедневно водой по мере испарения ее растениями, и при этом концентрация питательного раствора с каждым днем снижается до тех пор, пока не будет произведена смена или корректировка питательного раствора. Поэтому в установлении оптимальных верхних пределов концентраций питательных веществ особое важное значение имеет исходный объем питательного раствора, от величины которого зависит скорость обеднения питательного раствора

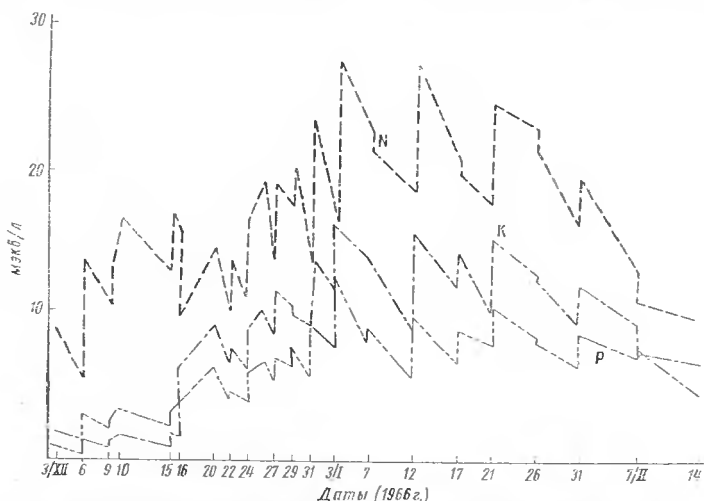


Рис. 2. Динамика изменений концентраций элементов питательного раствора за период вегетации томатов в аэропоники, обусловленная сменой и добавлением питательного раствора, а также поглощением из него элементов питания растениями (в объеме 100 л)

при той или иной частоте корректировки его концентрации. Рис. 2 отражает динамику концентраций питательного раствора, обусловленную обеднением питательного раствора растениями, периодическим пополнением и сменой его. Из рис. 2 видно, сколь велики эти скачки концентраций даже при объеме питательного раствора равном 100 л.

Таблица 3

Поглощение NPK растениями в зависимости от объема и концентрации питательного раствора

Объем питательного раствора в баке, л	Объем питательного раствора на одно растение, л	Максимальная концентрация питательного раствора, мг/л	Поглощено растениями NPK за период бутонизация — созревание плодов, мг/л
100	3,20	60	103,56
60	3,34	60	137,93
60	3,34	40	165,79
30	1,20	60	86,63

В табл. 3 приводятся данные по поглощению питательных элементов при трех различных объемах исходного раствора и двух уровнях максимальных концентраций.

На основании данных табл. 3 можно сделать вывод, что при работе с небольшим объемом исходного раствора порядка 30 л максимальная

концентрация питательного раствора в период максимального поглощения, равная 60 мэкв/л не является слишком высокой, а возможно, даже может быть увеличена (корректировка концентрации растворов проводилась 1 раз в 3 дня). При условии исходных объемов 60, а тем более 100 л питательного раствора подъем концентрации питательного

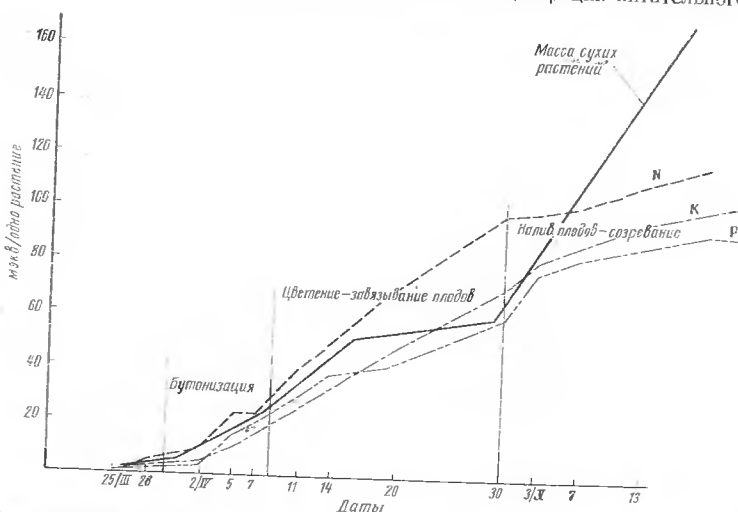


Рис. 3. Динамика нарастания сухой массы и накопление N, P и K томатами за период вегетации

раствора до 60 мэкв/л является излишним и, вероятно, достаточна концентрация 40—50 мэкв/л (корректировка концентрации раствора 1 раз в 5 дней).

Таким образом, показав сложность установления предельных концентраций питательного раствора в аэропоники, проведенные эксперименты, дают возможность еще раз подчеркнуть необходимость установления этих концентраций для последующего управления ростом и развитием растений в аэропоники с помощью питания.

Общую характеристику роста и питания растений, складывающуюся в условиях проведенных опытов при укороченном вегетационном периоде, дает рис. 3.

От начала бутонизации до завязывания плодов идет энергичное нарастание сухой массы растений и соответственно накапливаются N, P и K. Участок кривой динамики роста от начала цветения до массового плодоношения представляет собой почти плато. Одновременно можно видеть некоторое снижение углов наклона на кривых, изображающих накопление N, P и K, несмотря на то, что концентрации вносимых в этот период N, P и K оставались высокими. Начало массового плодоношения соответствует началу крутого подъема кривой накопления сухой массы. Кривые же накопления N, P и K с этого момента становятся еще более пологими, что говорит о реутилизации в этот период N, P и K, накопленных в предыдущие периоды. Налив и созревание плодов в этих опытах идет в основном за счет перераспределения питательных веществ внутри растения, о чем можно более конкретно судить по данным табл. 4. Если за последние две недели опыта растения поглотили всего около 19% питательных веществ от поглощенных ими за весь пе-

Таблица 4

Накопление сухой массы растений и N, P и K в период налива и созревания плодов

Накоплено	За весь период вегетации, г	За последние две недели (налив, созревание плодов)	
		г	в % от поглощенного за весь период вегетации
Сухая масса растений	1780	1098	62
N	73,3	43,7	48,7
P ₂ O ₅	61,8	43,5	21,9
K ₂ O	165,8	30,4	18,3
Сумма NPK	300,9	57,6	19,1

риод вегетации, то за тот же период ими было создано 62% всей растительной массы, образовавшейся за весь период вегетации.

Интенсивность поглощения N, P и K, выраженная в мг/кг на растение за сутки, изменяется по мере роста и развития растений (рис. 4).

Низкая для рассадного периода интенсивность поглощения резко увеличивается в период бутонизации и цветения, в соответствии с интенсивным ростом вегетативной массы, и сохраняется на высоком уровне в период массового завязывания плодов, несмотря на заторможенные ростовые процессы в этот период. В период налива и созревания плодов при высокой интенсивности накопления сухой массы интенсивность поглощения элементов минерального питания вновь падает.

Таков общий характер кривых изменения интенсивностей поглощения за короткий вегетационный период жизни растений в описанных опытах. Однако точки кривых рис. 4 располагаются не всегда плавно, указывая на некоторую периодичность суточных поглощений, причем отрезки кривых, указывающие на ускорение или замедление суточных поглощений, чаще всего совпадают в своей направленности для всех

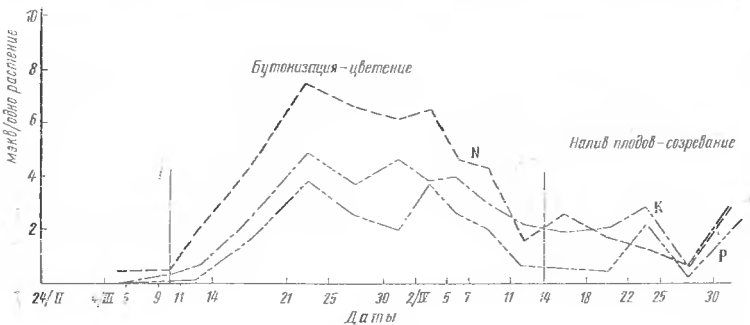


Рис. 4. Интенсивность поглощения N, P и K в среднем за сутки в мг/кг на одно растение

трех элементов. Эти изменения в суточных поглощениях до некоторой степени могут быть объяснимы очередными сменами или корректировками питательного раствора, при которых резко меняется состав раствора.

Для изменения соотношений элементов в питательном растворе в соответствии с намеченными для этой цели тремя периодами развития растений за период вегетации необходима двухкратная смена питатель-

ного раствора. В остальное время достаточно ограничиться только корректировкой концентрации питательного раствора, которая в случае правильно отработанного режима питания для конкретных стабильных условий может выражаться только в добавлении концентрированной смеси питательных элементов для доведения питательного раствора до требуемого уровня концентрации. На рис. 5 видно, что растения поглощали пи-

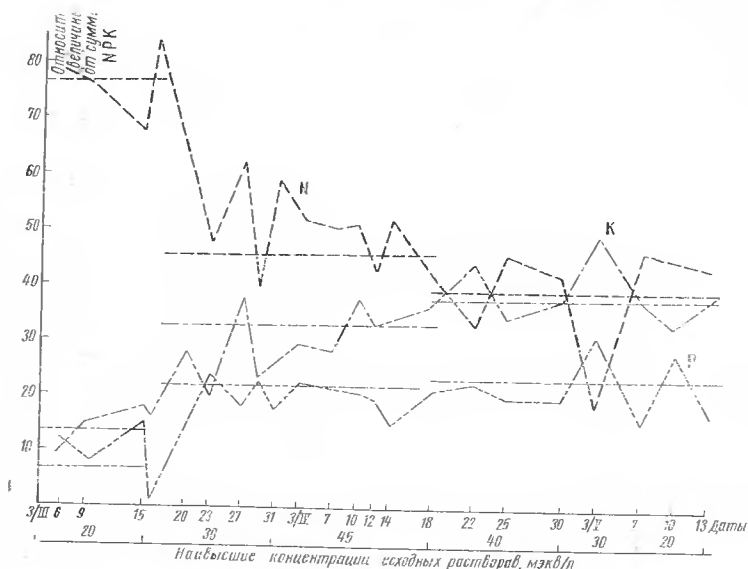


Рис. 5. Соотношения N, P и K в исходном растворе и в растениях после поглощения за периоды (N+P+K=100)

тательные элементы пропорционально их соотношениям в питательном растворе, поскольку он был составлен в соответствии с потребностями растений.

Данные, приведенные в табл. 5, показывают, что использование отдельных питательных элементов растениями из питательного раствора в условиях аэропоники происходит с одинаковой интенсивностью. В пе-

Таблица 5
Питание растений в соответствии с их потребностями в различные периоды развития

Показатели	Рассада			Бутонизация — конец цветения			Налие плодов — созревание		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
Внесено, мкгв	4025	400	795	5750	2760	3640	1208	585	738
Поглощено, мкгв	875	102	194	2800	1250	1850	655	300	437
Поглощено, %	22	26	24	46	46	51	54	51	59
Соотношения N:P:K* в % в питательных растворах	77	8	15	47	23	30	48	23	29
Соотношения N:P:K* в %, поглощенные растениями	75	9	17	48	21	31	48	22	31

* N + P + K = 100%.

риод выращивания рассады N, P и K было использовано в среднем по 24% каждого элемента от внесенных количеств, в период бутонизации около 48% и в период налива плодов около 54%.

Следовательно, в этих условиях состав питательного раствора должен точно отвечать потребностям растений в питании в тот или другой период и, тем самым, отпадает необходимость применения различных коэффициентов использования отдельных солей, как это требуется при выращивании растений в почве.

Практически полное совпадение соотношений N:P:K в питательном растворе и в количествах этих элементов усвоенных растениями (табл. 5) показывает, что состав питательного раствора для данных условий был подобран правильно и, что действительно нет необходимости применять различные коэффициенты использования для различных элементов в водных растворах.

При рассмотрении рис. 5 и табл. 5 может сложиться впечатление, что столь полное соответствие соотношений поглощенных элементов с соотношениями элементов, внесенных в питательный раствор, объясняется отсутствием избирательной способности растений в данных условиях выращивания растений. Но причиной такого соответствия является не отсутствие избирательной способности растений, а соответствие потребностей растений в соотношении питательных элементов в данных условиях выращивания с соотношением элементов, внесенных в питательный раствор. И стоит только изменить одно из условий выращивания, которое послужит причиной изменения потребностей растений в соотношении питательных элементов, оставив неизменным соотношение питательных элементов, чтобы достаточно ярко проявила себя избирательная способность растений.

Данные табл. 6 показывают, что при изменении освещенности или загущенности посева, которая в конечном счете также является причиной изменения освещенности, резко изменяется соотношение поглощаемых элементов питания. При пониженной освещенности резко падает поглощение азота, то же наблюдается при загущении посева в период наибольшей густоты стояния, когда растения затеяют друг друга.

Таблица 6

Поглощение питательных веществ растениями в зависимости от освещенности и загущенности посева

Варианты опыта	Период учета поглощения	Поглощение, мг/кг			Соотношение		
		N	P	K	N	P	K
Освещенность 150 000 эрг·см ² /сек	Бутонизация — созревание (45 дн.)	3965	2682	3430	39	27	34
Освещенность 250 000 эрг·см ² /сек		6390	2323	3300	53	19	28
Загущенность, 36 растений на 1 м ²	Начало цветения — начало плодообразования (10 дн.)	2045	1435	1680	39	28	33
Загущенность, 18 растений на 1 м ²		3160	1392	1460	53	23	24

Из этого ясно, что растения не теряют избирательной способности по отношению к поглощаемым ионам в условиях аэропоники. При выращивании растений в аэропонике мы имеем все возможности для удовлетворения потребностей растений в элементах питания при конкретных прочих условиях внешней среды.

Выводы

1. Рост и развитие томатов от всходов до созревания плодов делится на три периода, значительно различающиеся по потребностям растений к условиям питания — соотношению питательных элементов и концентрации питательного раствора.

2. Периоды бутонизации, цветения и завязывания плодов всегда характеризуются высокой интенсивностью поглощения питательных веществ. В период налива и созревания плодов интенсивность поглощения NPK может быть низкой или высокой в зависимости от обеспеченности растений питательными веществами в предшествующий период. Это объясняется тем, что свою высокую потребность в питательных веществах, необходимых для налива и созревания плодов, растения могут восполнить за счет реутилизации ранее поглощенных питательных элементов.

3. Растения в аэропонике легко переносят высокие концентрации питательных солей (порядка 60—90 мэкв/л в период их интенсивного роста). Использовать же столь высокие концентрации целесообразно только при условии небольших объемов питательных растворов и при довольно редкой их корректировке.

4. В условиях аэропонии растения сохраняют избирательную способность по отношению к поглощаемым ионам, несмотря на высокие уровни питания. Увеличение освещенности, как и снижение загущенности посева, приводит к усиленному поглощению азота относительно других элементов питания.

Аэропоника открывает большие возможности для изучения потребностей растений в элементах питания при исследовании особенностей выращивания растений в различных условиях внешней среды и для создания условий, обеспечивающих наилучший рост и развитие растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Арциховский. О воздушной культуре растений. Журн. оп. агр., № 1, 1911.
2. К. А. Тимирязев. Физиология растений, как основа рационального земледелия. Избр. соч., т. II. М., 1948.
3. А. Полунин, И. Мураш. Овощи в воздушной среде. Картофель и овощи, № 10, 1960.
4. И. Г. Мураш. О воздушной культуре растений в закрытом грунте. Физиол. растений, т. 10, вып. 5, 1963.
5. И. Мураш. Аэропоника в теплицах. М., 1964.
6. Ю. И. Шайдоров. Установка для выращивания растений методом воздушной культуры. Физиол. растений, № 2, 1964.
7. B. T. Berker. Studies on root development. Long Ashton Agric. Hort., St. 1921.
8. W. Carter. A method of growing plants in water vapor to facilitate examination of roots. Phytopathology, v. 32, No 7, 1942.
9. L. G. Klotz. A simplified method of growing plants with roots in nutrient vapors. Phytopathology, v. 34, No 5, 1944.
10. M. F. Clayton, I. A. Lamberton. A study of root exudates by the fog-box technique. Austral. J. Biol. Sci., No 4, 1964.
11. F. Scheffer, R. Kickuth. Sprühtank für die Pflanzenaufzucht, Z. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde und Bodenkultur, B. 105, H. 2, 1964.
12. М. Тарасенко, К. Кошталъ, З. Прохорова. Черенки в тумане. Цветоводство, № 3, 1965.
13. П. С. Беликов, А. Г. Акимова. Опыт использования аэропонии для изучения временного хода фотосинтеза. Изв. ТСХА, № 1, 1966.
14. И. В. Цветкова, Ю. И. Шайдоров, В. М. Абрамова. Об особенностях питания растений при выращивании их в воздушной культуре для замкнутой системы. В кн.: «Проблемы космической биологии», М., 1965.
15. Э. Хьюитт. Песчаные и водные культуры в изучении питания растений. М., 1960.
16. З. И. Журбицкий. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений. М., 1963.

Институт физиологии растений
АН СССР
Москва

Поступила в редакцию
1.11.1967