

В. А. ЧЕСНОКОВ, Е. Н. БАЗЫРИНА,  
Т. М. БУШУЕВА и Н. Л. ИЛЬИНСКАЯ

# ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
1960

*Печатается по постановлению  
Редакционно-издательского совета  
Ленинградского университета*

В книге излагаются основы современных методов промышленного выращивания растений без почвы. Описываются различные типы установок, приводятся рецепты питательных растворов, особенности ухода за растениями при выращивании без почвы, подробно излагаются методы контроля за химическим составом питательного раствора.

Книга рассчитана на агрономов, научных сотрудников, студентов сельскохозяйственных вузов и биологических факультетов университетов, учителей и любителей растениеводства.

## ВВЕДЕНИЕ

Выращивание растений без почвы на растворах питательных солей — метод не новый. Он был разработан в результате тщательного изучения питания растений еще в конце прошлого столетия. С тех пор выращивание растений без почвы — в водных или песчаных культурах является неотъемлемой принадлежностью лабораторий, изучающих самые разнообразные вопросы питания растений.

Долгое время выращивание растений без почвы было очень трудоемким, но примерно тридцать лет тому назад в нем были сделаны такие значительные упрощения, что его стали предлагать для производства, где замечательные преимущества этого метода могли бы принести немалую пользу.

При выращивании растений без почвы на водных растворах или искусственных субстратах можно получить очень высокие урожаи; оборудование, в котором выращиваются растения, можно легко простерилизовать и тем уменьшить опасность заболевания растений, поражения их вредителями. При этом способе культуры не нужны ни органические удобрения, ни подвозка свежей земли; наконец, часть трудоемких процессов при выращивании растений может быть автоматизирована.

Все эти преимущества делают выращивание растений без почвы особенно ценным в тепличных хозяйствах, расположенных в зоне крупных городов или в местах, где обычные приемы выращивания растений неосуществимы.

Методы выращивания растений без почвы в настоящее время достаточно хорошо разработаны и могут быть рекомендованы

для широкого испытания в производстве. Эти испытания принимают у нас в Союзе широкий размах. Однако до сего времени на русском языке не было издано ни одного подробного руководства, где были бы изложены все относящиеся сюда материалы.

Данная книга стремится заполнить существующий пробел. Не претендуя на исчерпывающую полноту, она представляет собой попытку обобщить как отечественный, так и зарубежный опыт выращивания растений без почвы на искусственных субстратах и водных растворах и тем облегчить и ускорить внедрение этого ценного, как нам кажется, метода в производство.

Специальная глава посвящена любителям, в которой они могут найти все необходимые сведения по устройству и применению мелких установок для выращивания цветов и овощей в домашнем быту.

---

## ГЛАВА I

### ВОЗНИКНОВЕНИЕ МЕТОДОВ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ, ИХ РАЗВИТИЕ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Возделывание растений издавна связано с почвой, которая имеет очень сложный состав и резко различается на отдельных полях даже по своему внешнему виду. Чем и как питается растение, долго оставалось загадкой, интересующей пытливого ум земледельца. Разрешение этого сложного и интересного вопроса, составляющего основу разумного выращивания растений, потребовало очень много времени — оно связано с развитием общих химических знаний и разработкой методов количественного анализа.

Питание растений имеет двойственную природу. Из углекислого газа, воздуха и воды с помощью лучистой энергии солнца растения строят углеводы — свою органическую пищу. Из почвы они получают наряду с водой минеральные соли. В процессе дыхательного обмена из этой пищи — углеводов и солей — растения строят все вещества своего тела.

По этим особенностям принято различать воздушно-световое питание растений, в основе которого лежит фотосинтез, и корневое, или минеральное, которое в обычных условиях связано с почвой.

#### ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

История изучения питания растений очень поучительна, она наглядно рисует те трудности, которые пришлось преодолеть на пути создания современных методов выращивания растений, позволяющих полностью управлять их питанием.

В середине XVI в. во Франции появилось сочинение Бернара Палисси (Palissy, 1563), специалиста стекольного и гончарного дела, в котором он впервые указал, что во всех телах природы, в том числе и в растениях, находятся соли или растворы солей, которые остаются при сжигании травы в виде золы. Вопреки прежним представлениям Палисси утверждал, что именно соле-

ные вещества, находящиеся в почве и в навозе, необходимы для питания растений. Мысли, высказанные Палисси, были вскоре забыты.

Спустя много лет известный голландский естествоиспытатель Ван-Гельмонт (Van-Heilmont, 1639) впервые прибегнул к постановке опыта. Желая установить, за счет чего растет растение, он посадил в глиняный сосуд, содержащий 90 кг почвы, ивовую ветвь весом в 2,25 кг и регулярно поливал ее водой. Через пять лет растение и почва были взвешены отдельно. Оказалось, что ива весила 77 кг, прибавив почти 75 кг, тогда как почва потеряла в весе всего 57 г. На основании своего опыта Ван-Гельмонт заключил, что привес ивы получен лишь за счет воды, которой он поливал, а не за счет почвы, которая не участвует в питании растений. Работа Ван-Гельмонта составила основу для так называемой водной теории питания растений, которая держалась довольно долгое время. Спустя несколько лет английский физик Бойль (Boyle, 1661) повторил опыты Ван-Гельмонта с тыквой и, получив такой же результат, подтвердил правильность водной теории. Однако эта теория не могла удовлетворить практиков, так как при выращивании растений они не только поливали их водой, но пользовались навозом и другими удобрениями, прибавка которых к почве неизменно повышала урожай.

В 1695 г. в Англии были опубликованы результаты опытов ботаника Вудворта (Woodward, 1699), которого некоторые считают родоначальником метода водных культур. Он выращивал проростки мяты в воде, взятой из различных источников. Через 77 дней растения были взвешены. Оказалось, что мята лучше всего росла в воде, к которой было добавлено 42 г жирной садовой земли. Она прибавилась в весе на 17,9 г. На водопроводной воде привес был равен 8,6 г, а на дождевой — всего 1,0 г. Эти опыты опровергли водную теорию питания растений, но остались незамеченными. Поэтому на протяжении почти 100 лет водная теория имела широкое распространение, хотя и не соответствовала некоторым практическим приемам возделывания растений.

Не были оценены и некоторые указания о пользе отдельных минеральных солей для роста растений. Так, еще в 1656 г. Глаубер (Glauber, 1656) выделил из почвы, взятой под навесом, где стоял скот, большое количество селитры. По его мнению, селитра образовалась из пищи скота, т. е. содержится в растениях и, может быть, составляет основу их роста. Свои предположения он проверил на опыте, добавляя селитру к почве, и получил прирост урожая. Гом (Hume, 1757) на основании опытов с растениями пришел к выводу, что для их успешного роста необходимы калийные соли. Дендональд (DunDonald, 1795) доказывал необходимость фосфорнокислых солей.

Для того чтобы внести ясность в этот важный и крайне запутанный вопрос, в 1800 г. Берлинская академия наук объявила конкурс на лучшую работу об источниках питательных веществ

для растений. Премию получил Шрадер, который, однако, защищал в своих опытах старую «водную теорию питания растений». Что же касается солей, то Шрадер утверждал, что растения сами создают зольные вещества в результате своей жизнедеятельности и потому не нуждаются в добавке их извне.

Для опровержения водной теории питания растений понадобились новые более точные методические приемы, которые были впервые применены Вигманом и Польсторфом (Wiegmann u. Polstorff, 1842) лишь в 1842 г. Они употребили для выращивания растений обрезки платиновой проволоки, которые поливали водой, очищенной путем перегонки. Кресс-салат, посеянный в таких условиях, рос лишь до тех пор, пока не были использованы все запасы семени, и затем погиб. То же получилось в опытах с кварцевым песком, предварительно промытым кислотой для удаления всех растворимых в воде веществ. Эти опыты ясно показали, что одной воды для обеспечения нормального роста растений недостаточно.

Наряду с водной теорией питания растений в XVIII в. развивается и получает широкое распространение гумусовая теория. Защитники этого взгляда считали, что органическое вещество тела растения создается из гумуса, а минеральные соли, роль которых невозможно было оставить без объяснения, являются возбудителями, способствующими лучшему усвоению перегнойных веществ.

Гумусовая теория нашла много сторонников. Она лучше увязывалась с практическими приемами возделывания растений, оправдывала широкое применение навоза в качестве удобрения, объясняла, почему на жирной, богатой перегноем почве растения дают значительно больший урожай, чем на сером суглинке или песке. Однако и гумусовая теория питания растений являлась совершенно неверной. Гумус не является для растений питательным веществом, а сам образуется из тела отмерших растений, но для того, чтобы понять это, понадобились долгие годы.

Дальнейший успех в изучении питания растений был целиком обусловлен открытием фотосинтеза, лежащего в основе воздушно-светового питания растений, и изучением той роли, которую он играет в построении урожая.

Однако предположение, что все органическое вещество растений строится из углекислого газа воздуха, казалось неправдоподобным, и понадобилось много лет после его открытия для того, чтобы эта версия приобрела официальный характер. Минеральная теория питания растений в ее современном виде была впервые высказана немецким химиком Юстусом Либихом в 1840 г. в его книге «Химия и ее применение в земледелии и физиологии». Сопоставив большое количество анализов растений, проведенных к тому времени, Либих пришел к выводу, что элементы, содержащиеся в золе, растения поглощают из почвы в виде минеральных солей. Эти вещества необходимы для нор-

мального роста растений, и их недостаток в почве должен восполняться путем внесения удобрений.

В своих обобщениях Либих (1936) не учел, однако, роль азота, который не усваивается высшими растениями из воздуха, но не содержится и в золе, так как соли его при прокаливании разлагаются с выделением газообразного азота. Это досадное обстоятельство не принесло успеха минеральным удобрениям, которые впервые начал выпускать Либих, и поколебало веру в его учение.

Недостающее звено в минеральной теории питания растений восполнил Буссенго (1936), в течение многих лет проводивший опыты, в которых подводился баланс питательных веществ, вносимых в почву и выносимых из нее вместе с урожаем. Особенно его интересовал вопрос, откуда растение черпает азот. Он выращивал свои растения в прокаленном кварцевом песке, прибавляя к нему необходимое азотное питание в виде минеральных солей. На основании этих опытов он пришел к заключению, что растения и азот получают не из гумуса, а в виде селитры, т. е. из минеральных солей.

Так, гениальными обобщениями Либиха и работами Буссенго был нанесен сокрушительный удар гумусовой теории питания растений. Отныне восторжествовала минеральная теория, согласно которой органические вещества не нужны для питания зеленых растений. Растение само строит органическое вещество из углекислого газа и воды с помощью энергии солнечных лучей, поглощаемых хлорофиллом, а зольные вещества и азот черпает из почвы в виде солей. Что касается водной теории, то она отпала сама собой как не соответствующая многим фактам, наблюдавшимся как в практике земледелия, так и в многочисленных опытах. Роль воды в жизни растений очень велика, но имеет совсем иной характер. Вода, непрерывно испаряясь с поверхности растений, предохраняет их от перегрева, а в своем движении способствует передвижению питательных солей, поглощенных корнем, во все органы растений.

#### **РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ**

Зола, образующаяся при сжигании растений, т. е. те соли, которые поглотило растение из почвы (за исключением азота), имеет сложный состав. Некоторые соли попадают в нее случайно, несмотря на свойственную растениям избирательность при их поглощении. Для выяснения роли отдельных зольных элементов в жизни растений пришлось поэтому проделать огромную кропотливую работу, в которую включились ученые всего мира. Для подобных опытов растения выращивались в платиновых опилках, в прокаленном и промытом дистиллированной водой кварцевом песке или в другом химически инертном материале, в который вносились различные соли. Эти опыты позволили уста-

новить, что для питания растений абсолютно необходимы азот, фосфор и сера, калий, кальций, магний и железо, и они не могут быть заменены другими веществами. И насколько важен азот, поглощаемый растениями в относительно больших количествах, настолько же важно и железо, хотя количество его, нужное растению, в сотни и даже в тысячи раз меньше.

Выращивание растений на твердом инертном субстрате вместо почвы далеко не всегда удовлетворяло исследователей. Эти субстраты давали некоторое количество растворимых веществ (песок), были очень дороги (платиновые опилки) и не позволяли производить точных наблюдений за динамикой поглощения отдельных питательных элементов. Гораздо легче оказалось работать с жидкой средой, с растворами питательных солей. Воду можно было легко очистить, а питательный раствор в любой момент измерить, взять из него определенный объем для анализа и простым пересчетом установить количество поглощенных веществ.

Водная культура растений явилась поэтому новым шагом вперед на пути изучения питания растений. Одними из первых исследователей, освоивших этот новый метод выращивания растений, были немецкий ботаник Сакс (Sachs, 1882) и агроном Кноп (Клор, 1868). Задача оказалась трудной. В течение 9 лет Кноп испытывал различные комбинации солей, и только в 1868 г. ему удалось получить положительные результаты — вырастить растение в таких необычных условиях из семени до полного созревания. С этих пор физиологи и агрохимики всего мира не прекращают пользоваться методом «водной культуры» в своих опытах.

Применение водной культуры и особой высокой очистки питательных солей позволило уточнить число питательных элементов, необходимых для растений, их оказалось значительно больше, чем думали раньше. Эти дополнительные питательные элементы, необходимость которых обнаружена в последнее время, носят название микроэлементов. Этот термин применяется потому, что количество их, необходимое для нормального развития растений, чрезвычайно незначительно. К числу микроэлементов, без которых не может развиваться большинство растений, относятся, в частности, марганец, бор, цинк, медь и молибден.

В России большое внимание водным культурам растений уделял знаменитый исследователь фотосинтеза К. А. Тимирязев (1948), который впервые для пропаганды научных основ минеральной теории питания растений организовал в 1896 г. на Нижегородской ярмарке широкий показ опытов по выращиванию растений на водных растворах солей.

Продолжателем дела, начатого К. А. Тимирязевым по насаждению вегетационного метода в России, были акад. Д. Н. Прянишников (1952) и его школа, сделавшие вегетационный метод орудием углубленного познания проблемы минерального пита-

ния растений. Многолетние работы Д. Н. Прянишникова внесли много нового в понимание процесса зольного питания и особенно азотного обмена у растений. Они значительно углубили и дополнили положение Буссенго о сравнительной ценности аммиачного и нитратного азота для питания растений.

#### **ВОЗНИКНОВЕНИЕ МЕТОДА ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕЛЯХ**

Уже вскоре, после того как Кнопю удалось вырастить в водной культуре хорошо развитые растения, было замечено, что в ряде случаев рост растений на питательных растворах был очень мощным. Так, Ноббе (Nobbe, 1864) в водной культуре получил растения гречихи весом в 120 г, а в поле вес растений был 25 г. Одно растение овса в водной культуре достигало веса 19,4 г, а выращенное на огородной почве весило 5,26 г.

Тем не менее в течение многих лет этот метод оставался лишь методом научного исследования. Причина этого была прежде всего в его большой трудоемкости.

Выращивание растений в водных растворах требовало большого внимания и заботы. Для лучшего контакта со средой корни растений целиком погружались в питательный раствор, они могли получать в этих условиях в изобилии воду и соли, но испытывали острый недостаток в кислороде, растворимость которого в воде очень невелика. Чтобы поддержать нормальное дыхание корней, питательный раствор приходилось ежедневно продувать воздухом, сменять на свежий или выращивать растения в токе питательного раствора — при непрерывном его обновлении. Необходимо было каждую неделю проверять кислотность раствора и соответствующим образом ее исправлять, так как при подщелачивании в осадок выпадали соли фосфора и железа, а растения страдали от их недостатка. Кроме того, смена старого раствора на новый должна была производиться не реже двух раз в месяц. Все перечисленные операции настолько усложнили уход за растениями, что в исследовательских институтах для обслуживания каждые 200 сосудов с водной культурой выделялся специальный человек. При допущении малейшей небрежности в уходе растения гибли. Излюбленными объектами при выращивании в водной культуре были кукуруза и овес. Некоторые растения, особенно такие, которые образуют корнеплоды, росли в водной культуре очень плохо. Долгое время ни исследователям, ни агрономам не приходила мысль о том, что можно будет выращивать подобным образом растения для производственных целей. Однако к настоящему времени положение коренным образом изменилось.

Начиная с 1929 г. на Калифорнийской агрономической станции профессор Жерике (Gerike, 1929, 1945) стал применять водную культуру для выращивания растений в коммерческих

целях. Ничтожные изменения в технике классической водной культуры сделали этот метод выращивания более простым. Корням растений нужно было создать те же условия, что и в хорошей почве — осуществить к ним доступ одновременно воды и атмосферного кислорода. Для достижения этого достаточно было погрузить корень в питательный раствор не целиком, а лишь на одну треть и предохранить его от подсыхания. Жерике закрыл сосуд с питательным раствором, как крышкой, решетом, наполненным рыхлым материалом, куда высаживалась рассада. Корни растений прорастали в сосуд с раствором и получали одновременно воду, соли и кислород воздуха для дыхания. Такое отступление от классического метода выращивания растений в водной культуре сделало этот способ выращивания простым и позволило без особого труда получить баснословные урожаи.

В 1937 г. по инструкции Жерике в Лос-Анжелесе была построена специальная теплица. Выращенные на ней томаты достигали 8-метровой высоты. С каждого растения снималось до 12 кг томатов. Поражали своей грандиозностью и выращенные в водной культуре табак, а высота гладиолусов достигала полутора метров. Исключительный успех опыта привлек к себе внимание прессы. Со всей Америки съезжались на станцию корреспонденты, чтобы зафиксировать на пленку достижения своего соотечественника, называя этот способ выращивания растений «чудом века». Действительно, результаты были столь блестящи, что привлекли к себе всеобщее внимание.

Во многих странах и любители, и производственники начали выращивать растения в водной культуре по Жерике, но с переменным успехом.

Другой метод искусственной культуры — выращивание растений в песке, пропитанном питательным раствором, стал предлагаться для производства с 1921 г. Рембером и Адамсом (Rember a. Adams, 1921), сотрудниками агрономической станции Род-Айленд. Позднее в широком масштабе опыты по промышленной песчаной культуре проводил на агрономической станции в Нью-Джерси Итон (Eaton, 1931), который разработал этот метод более детально.

Ряд исследователей предложил выращивать растения для коммерческих целей не в песке, а в более крупных частицах — гравии. Большой интерес к гравийной культуре растений проявили Эллис и Сваней (Ellis a. Swaney, 1953; 1955), которые внесли в него ряд ценных конструктивных предложений. В 1938 г. они опубликовали свою первую книгу по выращиванию растений без почвы, которую, значительно расширив и улучшив, переиздали в 1947 и 1953 гг. С 1937 г. в университете в Пардью Витров и Бибель (Withrow a. Biebel, 1937) проводили широкие опыты с гравийной культурой, орошаемой субиригационным методом. Витров и Бибель, а также Эллис и Сваней являются наиболее активными пропагандистами метода гравийной куль-

туры, который в настоящее время может считаться наиболее разработанным среди прочих методов выращивания растений в искусственной среде.

В настоящее время различают три основных способа выращивания растений без почвы в целях получения высоких урожаев.

1. Водная культура. Выращивание растений в жидкой среде. Этот способ был предложен Жерике. Своей технике он дал название «гидролоника», что означает при переводе с греческого — работа с водой в противовес «геолонике», т. е. работе с почвой.

2. Песчаная культура. Растения выращиваются в песке, который различными способами увлажняется питательным раствором. Метод разрабатывался Нью-Джерсейской опытной станцией.

3. Гравийная культура. Субстратом для выращивания растений служит гравий, который периодически увлажняется питательным раствором; при подаче питательного раствора снизу этот метод получает название субиригационного. Впервые начал разрабатываться в университете в Пардю. К этому методу близко примыкает выращивание растений в вермикулите, шлаке, битом кирпиче и др. В качестве субстрата для выращивания растений применяются некоторые органические материалы: торф, мох.

#### **МАСШТАБ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ В ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ (ТЕПЛИЦЕ) В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ**

В настоящее время выращивание растений без почвы получило довольно широкое распространение. Выращивание растений без почвы оказалось особенно рентабельным в цветоводстве и овощеводстве защищенного грунта. Садоводы крупных хозяйств, расположенных вблизи больших городов Америки, Англии, Франции, Швейцарии, проявляя большой интерес к этому способу выращивания, реконструировали свои теплицы для гравийной или водной культуры. Из года в год число подобных теплиц увеличивается. Дорогостоящая продукция вполне оправдывает затраты на современное оборудование, которое дает большую прибыль, чем при обычном выращивании цветов. Специалисты цветоводства отмечают высокое качество продукции, получаемой при выращивании растений без почвы, как в отношении формы, величины, так и окраски и аромата цветов. Кроме того, растения значительно раньше зацветают, чем при обычном выращивании. Особенно большого масштаба разведение цветов и выращивание овощей без почвы достигло в теплицах США.

Американский садовод Виктор Болл (Ball, 1941) один из первых оценил новый метод. Уже в 1940 г. он имел в восточном Чикаго теплицу в 1000 м<sup>2</sup> с гравийной культурой, оборудованной по

субиригационному способу. В ней успешно выращиваются сортовая гвоздика, розы и другие цветы.

На Колумбийской станции в Огайо имеется теплица до 1000 м<sup>2</sup>, построенная в основном для разведения гвоздики. Еще в 1940 г. (Лаури — Laurie, 1940) на выставке цветов это хозяйство получило первую премию за хризантему, выращенную без почвы.

В штате Пенсильвания в городе Питсбурге с большим успехом в течение многих лет на больших площадях выращиваются розы.

Наибольший интерес представляет теплица в небольшом городке Сэнфорд штата Северная Каролина для водной культуры хризантем. Она по праву называется «фабрикой хризантем». Каждую неделю в течение круглого года на ней собирают до 1000 букетов хризантем. Это достигается тем, что теплица имеет два отделения — с осенним и летним режимом. Решета, на которых выращиваются растения, по блокам передвигаются из одного отделения в другое. В ней настолько все механизировано, что обслуживают такое хозяйство всего три человека (Бентли — Bentley, 1955).

Широкое развитие получил новый метод и в теплицах Европы. После опубликования первых работ ученые Великобритании стали проверять все три метода выращивания растений без почвы. Однако метод Жерике не дал столь блестящих результатов. Мало освещенные из-за туманов Британские острова не могли конкурировать по климатическим условиям с Калифорнией, где много тепла и света. Но не только климатические условия отрицательно сказались на урожае — по всей вероятности, здесь сказались и недостаточная аэрация корней при проведении опытов. Гравийная субиригационная культура дала, напротив, исключительные результаты. Эти опыты проводились исследовательской станцией Джелотт-Хилл под руководством Темплемана (Templeman, 1941, 1947, 1949) и с 1939 г. Стаутоном (Stoughton, 1941) в университете г. Рединга. Эти опыты легли в основу производственного выращивания растений в беспочвенной культуре. Как и в других европейских странах, вторая мировая война приостановила и в Англии работы по выращиванию растений без почвы. Ощущался недостаток в питательных солях, не хватало рабочей силы. После войны интерес к этому методу возрос. Стаутон (Stoughton, 1956, 1957; Стаутон, 1957) считает, что в Англии в настоящее время имеется около 20 производственных теплиц с беспочвенной культурой, преимущественно для выращивания цветов и томатов. Из-за простоты и дешевизны оборудования большинство практиков в Англии предпочитает песчаную культуру, хотя при этом способе утечка питательных веществ очень значительна.

Во Франции работы по выращиванию растений без почвы также начались с проверки метода Жерике. Опыты дали пре-

красные результаты. В 1939 г. лаборатория агрономической школы Версаля получила соответствующее оборудование для дальнейших опытов, но с началом войны начатые работы также пришлось прервать вплоть до 1950 г. (Шуар — Chouard, s. a.). В настоящее время во Франции на берегу Средиземного моря на мысе Антиба имеется колоссальная фабрика роз, которая привлекает к себе всеобщее внимание (Милланд — Meilland, 1955). В ней выращивается до 30 000 кустов роз. В 1948 г. на ней впервые проверялся субиригационный метод при разведении роз. Администрация на основании этого опыта пришла к заключению, что получаемая продукция отличается высоким качеством. Кроме того, она отмечает, что при таком способе выращивания цветение роз наступает значительно раньше, укорачивается период вегетации, что дает более выгодный годовой оборот и освобождает хозяйство от приобретения новых площадей.

В послевоенные годы проводятся опытные работы по водной и песчаной культуре растений как в Западной Германии (Альбрехт — Albrecht, 1949; Кёпнер — Коеррнер, 1949а, б; Пёнингсфельд — Penningsfeld, 1949, 1952; Рёсслер — Rössler, 1950), так и в Германской Демократической Республике (Фридрих и Шольц — Friedrich u. Scholz, 1953; Фридрих и Шмидт — Friedrich u. Schmidt, 1954; Гейсслер — Geissler, 1955, 1957а, 1957б, 1957в; Гейсслер и Гелер — Geissler u. Göhler, 1959; Гейсслер, 1956; Гелер — Göhler, 1959; Залцер — Salzer, 1956).

В Институте садоводства в Гроссбеерене (ГДР) и некоторых других учреждениях в водной и гравийной культуре выращивались огурцы, томаты, кольраби, салат, редис и другие культуры. Высокие урожаи были получены в гравийной культуре. Однако масштаб этих опытов пока еще невелик.

Опыты по выращиванию растений в беспочвенной культуре проводятся также в Австрии (Нидецки — Nidetzky, 1954 и др.), Нидерландах (Васшер — Wasscher, 1950), Польше (Никлевска-Гуминска — Niklewska-Guminska, 1950), Швейцарии (Рингвальд — Ringwald, 1953), Швеции (Хентиг — Hentig, 1954), Италии (Канделори — Candeleri, 1938).

В Советском Союзе к настоящему времени имеется несколько довольно крупных опытных установок по выращиванию в гравийной культуре главным образом огурцов и томатов. Сравнительно мало ставилось опытов с выращиванием цветов, хотя именно цветоводства в больших городах или близ них испытывают острый недостаток в хорошей почве.

С 1939 по 1941 г. успешно проводились опыты по выращиванию огурцов, томатов и лука без почвы в Биологическом институте Ленинградского университета. Полупроизводственные установки для водной культуры занимали два отделения теплицы общей площадью 120 м<sup>2</sup>. Выращивание проводилось на водных растворах в баках, закрытых деревянными крышками (рис. 1). В течение трех лет неизменно получался устойчивый, довольно



Рис. 1. Водная культура огурцов и томатов в теплице Биологического института Ленинградского университета.

высокий для тепличных условий урожай овощей (Чесноков, Базырина и Кубли, 1940; Чесноков, Базырина, Гречухина и Кубли, 1940).

В военные годы работы были прерваны и возобновились с 1948 г. сначала в теплицах совхоза «Петрорайсовет», а затем с 1952 г. в Ленинградском теплично-парниковом комбинате (Базырина, 1952; Чесноков, 1956, 1957; Чесноков и Базырина, 1957; Голятина, 1957, 1958). В Ленинградском теплично-парниковом комбинате проводилось производственное испытание выращивания огурцов и томатов на различных искусственных субстратах в трех отделениях экспериментальной теплицы площадью около 200 м<sup>2</sup>. Результаты опытов показали, что в гравийной культуре могут быть получены более высокие урожаи огурцов и томатов, чем в почве, и в более ранние сроки.

Позднее на этих же установках сотрудником Пушкинского сельскохозяйственного института Берсоном (Берсон, 1958; Берсон и Советкина — Bersons и. Sovetkina, 1958) была учтена экономическая эффективность применения этого нового агротехнического приема.

В настоящее время на Ленинградском теплично-парниковом комбинате запланировано переоборудование под гравийную культуру теплицы площадью 1840 м<sup>2</sup>.

Незадолго до войны были поставлены также опыты по выращиванию огурцов в песчаной культуре на овощной опытной станции Тимирязевской сельскохозяйственной академии (Родников, 1940, 1945). Эти опыты показали, что в песчаной культуре клипские огурцы повышают скороспелость и дают более высокие урожаи, чем в почве.

С 1949 г. очень интересная работа по выращиванию огурцов, томатов и лука на перо в песчаной, водной культуре и во мху начала проводиться в теплицах г. Салехарда, расположенного у самого полярного круга (Тульженкова, 1949, 1953, 1957). Эти опыты показали перспективность применения новых методов выращивания в условиях Крайнего Севера.

В 1956 г. по заданию Министерства сельского хозяйства РСФСР был организован опорный пункт Научно-исследовательского института овощного хозяйства при теплицах Московского нефтеперерабатывающего завода, который с 1957 г. приступил к освоению выращивания огурцов, томатов и фасоли в гравийной и водной культурах (Мураш и Горшунова, 1957). К настоящему времени подобраны сорта огурцов и томатов, наилучшие для выращивания в искусственной культуре. Общая площадь теплиц, занятых гравийной культурой, составляет 2500 м<sup>2</sup>.

С 1957 г. большие опыты по выращиванию овощей без почвы стал проводить Научно-исследовательский институт овощного хозяйства сначала в Лосиноостровском отделении института близ Москвы (Ващенко и Корбут, 1957), а затем в совхозе «Теп-

личный» (Вашенко, Латышев и Смирнова, 1959; Спиридонова и Вашенко, 1959) с учетом эффективности этого приема.

Эти работы доказали, что затраты на оборудование и химикаты окупаются высоким урожаем огурцов и томатов и их хорошим качеством. В этом же институте испытывалась водная культура огурцов в бассейнах из пленки «Винидур» (Марков, 1958).

Автоматизация приготовления и подачи питательного раствора в совхозе «Тепличный» разработана Научно-исследовательским институтом сельскохозяйственного машиностроения (Чирвинский, 1958; Корбут, 1956, 1959; Акоюн, 1959).

В 1958 г. на овощном участке Выставки достижений народного хозяйства впервые демонстрировалась гравийная культура огурцов в теплицах и томатов в парниках. Урожай огурцов в искусственной культуре был значительно выше, чем в почве (Спиридонова и Вашенко, 1959).

Опыты по выращиванию растений в искусственных средах проводятся также и в совхозах «Марфино» под Москвой (Шелудько и Шувалов, 1953), в Днепропетровском тепличном комбинате при заводе имени К. Либкнехта (Холодков, 1957).

С 1958 г. в теплицах и парниках треста садоводства г. Риги были проведены первые опыты по выращиванию овощей и цветов в искусственной культуре. Хорошие результаты были получены с выращиванием гвоздики. В водной культуре были получены высокие урожаи огурцов и томатов (Абеле, 1959б).

Опыты по выращиванию овощей в смеси песка и гравия в парниках начаты также в колхозе «Марупе» Рижского района (Абеле, 1959а).

Запланировано переоборудование под песчаную и гравийную культуры некоторых теплиц под Москвой, а также в Орле и Керсове.

#### **МАСШТАБ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННОЙ КУЛЬТУРЕ В ОТКРЫТОМ ГРУНТЕ**

За последние 15 лет накоплен большой материал, который показывает преимущество выращивания растений на искусственном субстрате не только в теплицах, но и в открытом грунте. Многочисленные промышленные установки выстроены в местах, где отсутствует подходящая для земледелия почва, например в песчаных дюнах, на скалистых островах, на Крайнем Севере, где земля скована вечной мерзлотой, в засушливых районах, в пустынях или, наоборот, в тропической зоне, где с наступлением муссонов сильные проливные дожди затопляют корневую систему, наконец, там, где почва заражена гельминтами, что заставляет воздерживаться от употребления зелени в сыром виде по гигиеническим соображениям, и т. д.

Военные годы (1944—1945) являются рекордными по сооружению промышленных установок для выращивания растений

без почвы в открытом грунте. Фермы для выращивания растений без почвы в тропической зоне строились воздушными силами США, которые не считались с расходами. Этот метод обеспечивал снабжение разрозненных группировок свежими овощами там, где по местным условиям выращивание овощей в почве было затруднительным или невозможным. Одна из первых установок была построена на бесплодном острове Вознесения (Мур — Моог, 1945). Остров вместо почвы покрывали вулканические отложения, кроме того, на нем отсутствовала пресная вода. Несмотря на трудности, военная организация приступила к устройству бетонированных канавок, под которые было отведено до 3000 м<sup>2</sup> бесплодного грунта. При выращивании растений морскую воду приходилось опреснять. После преодоления всех трудностей результат оказался прекрасным. Уже в первый год с такой небольшой площади было собрано 45 т свежих овощей, преимущественно томатов, салата и огурцов.

Через некоторое время для нужд Трансатлантической аэротрассы в Британской Гвиане (Тикет — Tisquet, 1950, 1952) были подготовлены бетонные гряды, наполненные галькой, которые заняли почти гектар бесплодной поверхности земли. Таким образом, это сооружение было почти в три раза больше первого. Затраченные расходы вполне себя оправдали, так как в первый же год с этого участка было собрано до 108 т овощей.

К третьей установке приступили в 1945 г. на небольшом японском вулканическом острове Иводзима (Лакост — La Coste, 1955), где по окончании второй мировой войны США оборудовали военно-морскую базу. Несмотря на то что на острове отсутствовала пресная вода, установка себя вполне оправдывает. В этот же год начали строить самую крупную в мире ферму на Японских островах (Нифтенеггер — Niffenegger, 1954). Здесь построили две установки, общая площадь которых равняется 32 га. Одна находится в Кофу, недалеко от Токио, другая — в Оксу. Эти сооружения строились по заданиям пищевой секции американского командования для круглогодичного снабжения свежими овощами и салатом американских военных баз в Японии. Местные японские овощи, выращенные в почве, были заражены яйцами глист и не пригодны к употреблению в сыром виде, так как для удобрения своих полей японцы применяют фекалии. По имеющимся сведениям за 9 месяцев вегетации в этих установках ежегодно снимают до 2000 т овощей. Как видно, создание таких промышленных ферм оказалось не только возможным, но и выгодным.

Из изложенного ясно, что в военные и послевоенные годы производственные установки по выращиванию овощей в открытом грунте строились в основном военными организациями, которые не считались с затратами государственных средств. Может создаться впечатление, что построить подобные сооружения гражданским организациям или частным лицам не по плечу.

Однако послевоенные годы показали, что устройством подобных ферм заинтересовались торговые компании, и даже отдельные предприимчивые частные лица стали вкладывать свой капитал в подобные предприятия. Так, на острове Аруба (Нидерланды), где производится переработка нефти, имеется ферма площадью 3,2 га (Робинс — Robins, 1958). Аруба представляет собой классический пример необходимости выращивать растения без почвы: вся почва для острова привозится с материка. Остров не имеет ни пригодной для пахоты земли, ни пресной воды. Никакой другой метод агрономии в данных природных условиях не окупится. Однако несмотря на то, что Аруба использует лишь дистиллированную воду, стоимость которой довольно высока, продукты, выращенные на ферме, успешно конкурируют с привозными продуктами, выращенными в почвенной культуре. Большой урожай позволяет отсылать излишек продукции даже на соседний остров Куракао. Ежегодно с каждого гектара собирают до 125 т овощей.

Большая по размерам ферма площадью в 6 га создана в 1952 г. на о-ве Пуэрто-Рико (Вест-Индия, США).<sup>1</sup> На ней ежегодно выращивают прекрасный урожай томатов, продавая их с большой прибылью.

На Филиппинах успешно выращивают томаты в песчаной культуре (Роблес — Robles, 1940, и др.).

В США на материке также имеются крупные хозяйства с гравийной культурой под открытым небом. Эти хозяйства называются «современными фермами» и выращивают рассаду и овощи для северных штатов. Из них большую популярность получило хозяйство в Майами штата Флориды, оно имеет площадь установки около 8000 м<sup>2</sup> (Стаут — Stout, 1956). Кроме того, во Флориде имеются и более мелкие фермы — в 1000 м<sup>2</sup> и более. Из года в год число подобных хозяйств возрастает.

Несколько коммерческих установок для беспочвенного выращивания растений создано в Южной Африке (Бентли — Bentley, 1958). Одна из них расположена в тропической зоне Родезии в 35 милях от р. Замбези, где находятся крупные угольные шахты. Другая установка построена в Юго-Западной Африке на побережье р. Оранжевой, где находятся алмазные прииски. Общая площадь установки составляет 2000 м<sup>2</sup>. В качестве субстрата для выращивания овощей в Южно-Африканском Союзе употребляют минерал вермикулит.

В пустыне Калахари также начинают выращивать овощи без почвы. Здесь намечается развитие индивидуальных установок. По имеющимся сведениям около 3000 семей уже имеют подобные установки. Как показала практика, установки площадью в

---

<sup>1</sup> Market Growers J., vol. 85, p. 23, Puerto-Rico grows million pounds of soilles produce.

18 м<sup>2</sup> хватает для снабжения овощами семьи, состоящей из 4 человек, в течение круглого года.

В Индии и ряде других стран беспочвенная культура ряда растений ведется по Бенгальскому методу (Шолто-Дуглас — Sholto-Dauglas, 1955, 1956). Этот метод позволяет выращивать растения в период муссонов, когда выращивание растений обычным способом может привести к гибели урожая из-за затопления.

Следует упомянуть, что на английскую научную станцию в Антарктиде доставлена установка по выращиванию свежих овощей без почвы.<sup>2</sup>

Область применения беспочвенной культуры растений непрерывно расширяется. Вероятно, она будет использоваться при укоренении черенков и выращивании сеянцев в лесоводстве. Первые опыты в этом направлении уже поставлены и дали положительные результаты (Олсон — Olson, 1944; Придчем — Pridham, 1948; Sholto-Dauglas, 1957; О'Рурке и Мексон — O'Rourke a. Maxon, 1948; Тасаки — Tazaki и др., 1939; Клайншмит и Фрелих — Kleinschmit u. Fröhlich, 1956).

Нами перечислены далеко не все производственные установки, из сказанного вполне достаточно, чтобы дать оценку выращиванию растений без почвы. К 1957 г., по данным Центральной научной сельскохозяйственной библиотеки, уже имелось свыше 400 работ, посвященных искусственной культуре растений.<sup>3</sup>

Культура растений без почвы — это не модное увлечение, а перспективный метод выращивания растений, позволяющий получать огромные урожаи растений, а также выращивать растения там, где обычным способом это сделать трудно или невозможно.

<sup>2</sup> Fertilizers for Antarctic expedition World crops, v. 8, N 2, p. 80.

<sup>3</sup> См. библиографический указатель «Выращивание растений на искусственных питательных средах». Всесоюз. центр. науч. с.-х. библиотека. 1957.

---

## ГЛАВА II

### ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ НА ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТАХ

Для того чтобы выявить те особенности и преимущества, которые имеют растения при выращивании в искусственной культуре, следует предварительно познакомиться с работой корня. Основная роль корня, помимо его опорной функции, сводится к обеспечению растений питательными минеральными солями и водой. Эти процессы осуществляются лишь живой корневой системой, с ее отмиранием подача воды и питательных веществ прекращается, обрекая растение на гибель.

#### КОРЕНЬ КАК ОРГАН ПОГЛОЩЕНИЯ ВОДЫ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

##### Поглощение корнем воды

Одной из важнейших функций корневой системы является всасывание и подача воды в надземную часть. Как известно, растение на 80% состоит из воды. Вода участвует в дыхательном обмене, разлагается при образовании в процессе фотосинтеза органических веществ, таких, как сахар и крахмал. Однако расход ее на эти процессы ничтожен по сравнению с той тратой, которую растения производят при испарении воды листовой поверхностью (транспирация).

В солнечную погоду листья, поглощая лучистую энергию, необходимую для процесса фотосинтеза, могут перегреться и погибнуть. Чтобы сохранить эти важнейшие органы от гибели, растения выработали защитные приспособления. Листья непрерывно испаряют воду, вследствие чего температура их снижается, и даже на ярком солнечном свете они почти не нагреваются. В зависимости от погоды площадь листьев, равная 1 м<sup>2</sup>, испаряет за час днем от 15 до 250 г воды, а ночью от 1 до 20 г. В южных широтах одно растение томатов за 3 месяца испаряет в откры-

том грунте около 160 л воды (13 ведер). 1 м<sup>2</sup> картофельного поля в хороший солнечный день под Ленинградом испаряет за сутки 5 л воды, из них 4,3 л в дневные часы. В тепличных условиях одно взрослое растение огурцов, подвязанное на шпалерах, испаряет ежедневно до 200—300 г воды.

Для пополнения воды, потраченной на испарение, корень автоматически должен подавать новые порции ее. Если корень не справляется с этой работой, то растение завядает, прекращая одновременно вырабатывать в процессе фотосинтеза новые органические вещества, перестает расти, что сильнее всего сказывается на урожае.

Корню приходится, таким образом, совершать колоссальную работу, чтобы обеспечить растение водой. При выращивании растений в почве корень разыскивает воду, углубляясь на 1,5—2 м, и оплетает каждый комочек почвы в сравнительно большом объеме. В силу этого протяженность и общая поверхность корней у растений, выросших в естественных условиях, очень велика; она примерно в 50—100 раз превышает поверхность листьев.

Немало усилий корень принужден зачастую прилагать, отнимая воду от коллоидных частичек или от скопившихся в почве солей.

Роль корня в обеспечении растений водой намного облегчена при выращивании их на искусственных субстратах, которыми наполнены бетонированные канавки. Вода не связывается субстратом. Поиски ее делаются искусственными. Вода всегда имеется в изобилии и легко доступна в виде.

При выращивании растений на искусственных субстратах вода расходуется особенно экономно. Обычно при поливе почвы часть воды, проникшая вглубь, не используется растением, часть вступает в прочное соединение с глинистыми частицами и становится недоступной для корней, иногда количество такой воды достигает 16% от общей влагоемкости. Наконец, очень много воды испаряется с поверхности почвы. Таких потерь воды не имеется при выращивании растений без почвы в водонепроницаемых баках. Частицы песка и гравия не способны прочно связывать воду, а при субиригационном способе полива поверхность субстрата остается сухой, вследствие чего вода с нее не испаряется. При отсутствии капиллярности вода не поднимается на поверхность субстрата, испарение воды происходит лишь с поверхности листьев при транспирации.

Количественная сторона экономии воды зависит от климата, от характера почвы и от глубины залегания грунтовых вод. Многие считают, что в среднем расход воды при искусственной культуре сокращается на 50%. На опытах, проведенных в Сахаре, показано, что в подобных установках достаточно лишь  $\frac{1}{20}$  части воды по сравнению с выращиванием растений в почве при поверхностном орошении. Одно растение томата, растущее под ярким солнцем без почвы, потребляет за 3 месяца вегетации

157,6 л воды, тогда как такое же растение в почвенных условиях требует за тот же период в 5 раз больше воды (864 л). Такое экономное расходование воды имеет особо важное значение в засушливых районах или в местах, где отсутствует пресная вода.

#### **Поглощение корнем минеральных веществ**

Другой важнейшей функцией корневой системы является поглощение необходимых для растений питательных солей.

Известно, что только молодые растущие части корневой системы (до 5 см. от кончика корня) хорошо поглощают минеральные соли. Более старые опробковевшие участки корня не способны к поглощению питательных солей. Таким образом, только при создании хороших условий для роста корня растение нормально обеспечивается питательными веществами.

Корневая система растений прорабатывает большую работу, разыскивая и собирая по крупницам рассеянные в почвенной толще питательные элементы. Лишь незначительная часть минеральных солей находится в так называемом почвенном растворе, из которого они без особого труда всасываются корнем. Однако почвенный раствор даже в самой плодородной почве содержит относительно мало питательных веществ и не может обеспечить нормального развития растений. Основная масса питательных солей находится в нерастворимом состоянии или адсорбирована на поверхности мельчайших почвенных частиц.

Питание растений в почве является весьма сложным по сравнению с питанием растений в водных растворах. В почве необходима как большая поверхность корневых систем, так и наличие в ней значительного запаса дыхательных материалов.

Питание растений в почве осложняется еще тем, что питательные вещества, в особенности азот и фосфор, находятся в форме органических соединений. Они становятся доступными для растения лишь после разложения его микроорганизмами, и чем благоприятнее условия для жизнедеятельности микроорганизмов в почве, тем больше питательных веществ получают растения. В холодную погоду разложение органического вещества не идет столь энергично, как летом, поэтому весной растения проявляют зачастую признаки азотного голодания. Вносимый в почву навоз, торф и другие органические удобрения также должны подвергнуться переработке микроорганизмами. Из этого следует, что урожай растений, растущих в почве, до некоторой степени зависит от жизнедеятельности микроорганизмов. К сказанному следует добавить, что зачастую даже плодородные почвы не всегда содержат достаточное количество микроэлементов, которые или отсутствуют или находятся в недоступной для растений форме.

Если рассматривать почву с этих позиций, то каждый почвенный образец представляет собой настолько сложную среду, что

часто самый точный химический анализ не в состоянии дать ответ, сколько и каких веществ находится в данный момент в расположении растений. Это создает большие трудности при решении вопросов, связанных с подкормкой при интенсивной культуре растений, так как излишнее внесение минеральных удобрений приводит к засолению почвы и ухудшает ее физические свойства.

*Выращивание растений без почвы легко разрешает задачу рационального питания растений, так как в любое время простой количественный анализ позволит дать точный ответ, в каком количестве то или иное вещество находится в растворе. В случае необходимости состав среды можно изменить в нужном направлении. Это является одним из основных преимуществ метода.*

Поглощение минеральных веществ является физиологическим процессом и тесно связано с дыханием корней. Поэтому одним из условий интенсивного поглощения питательных солей является хорошая аэрация корневой системы. Очень важны также температурные условия, кислотность и концентрация окружающего раствора. Остановимся отдельно на каждом из этих условий, которые способствуют обеспечению растений питательными веществами.

#### *Роль аэрации корня в поглощении им питательных веществ*

Как уже говорилось, корень нуждается в кислороде, иначе функции его по поглощению воды и питательных солей затормаживаются. Воздушные пространства между крупными комочками структурной почвы вполне удовлетворяют эту потребность. В бесструктурной почве с очень мелкими частицами и незначительными воздушными полостями имеется ничтожный запас кислорода, что отрицательно сказывается на росте растений.

Всего интенсивнее дышат растущие молодые корни, они главным образом и поглощают питательные соли. Старые корни действуют лишь как транспортные пути, передавая поглощенные ионы в надземную часть растений. Нежные молодые корешки в сухом пространстве отмирают, не достигнув питательного раствора. Поэтому при выращивании растений в искусственной среде необходимо в первую очередь обратить серьезное внимание на создание благоприятных условий аэрации и влажности воздуха, что обеспечит и нормальный рост корня и его работу.

Какова фактическая потребность корня в кислороде? Опыты показали, что корень взрослого растения томатов при сухом весе в 2 г поглощает за один час в среднем 15—16 мг кислорода (Базырина, 1950). Если сравнить эту величину с содержанием кислорода в одном литре воздуха, которое составляет около 300 мг, станет ясным, что корень, помещенный во влажную, хорошо проветриваемую воздушную среду, никогда не будет страдать от недостатка кислорода. Совершенно другая картина наблюдается

при полном погружении корня в питательный раствор и особенно при внезапном затоплении его. В таких случаях уже через 3—4 часа начнется подвядание листвы и отмирание растений, так как корень начинает испытывать недостаток в кислороде.

Объяснение этого явления кроется в том, что в одном литре воды (питательного раствора) содержится всего 8—9 мг кислорода. Такой мизерный запас может обеспечить нормальное дыхание мощно развитой корневой системы в течение очень короткого времени.

В дальнейшем дыхание корня будет поддерживаться только за счет поступления в питательный раствор новых порций кислорода, что происходит крайне медленно. Через поверхность в  $100 \text{ см}^2$  за каждый час в раствор будет поступать всего 0,5 мг кислорода. Корень будет находиться в состоянии удушья — кислородного голодания, которое может привести к частичному отмиранию корневой системы и затормозит рост растений.

Залог успеха выращивания растений в водных растворах прежде всего заключается в том, чтобы создать для жизнедеятельности корня наиболее благоприятные условия: корневая система должна находиться в хорошо проветриваемом воздушном пространстве, насыщенном водяными парами, и только кончики корней могут быть погружены в питательный раствор. Нарушение этих условий, хотя бы частичное, неблагоприятно скажется на росте растений.

#### *Влияние температуры на рост корня и урожай*

При выращивании растений большое значение имеет также температура почвы или искусственной питательной среды. Как высокая, так и низкая температуры неблагоприятны для жизнедеятельности корня. При низкой температуре дыхание корней ослабляется, вследствие чего поглощение воды и питательных солей уменьшается, что приводит к подвяданию и остановке роста. Особенно чувствительны к понижению температуры огурцы, снижение ее до  $5^\circ$  губит рассаду огурцов. Листья взрослых растений при низкой температуре питательного раствора в солнечную погоду подвядают и получают ожоги. Для этой культуры снижать температуру питательного раствора ниже  $12^\circ$  не следует. Обычно в зимнее время при выращивании растений в теплицах питательный раствор, сохраняемый в баках, имеет низкую температуру, и его следует подогревать хотя бы до температуры окружающего воздуха. Наиболее благоприятной температурой раствора, применяемого для выращивания огурцов, следует считать  $25\text{—}30^\circ$ , для томатов, лука на перо и других растений —  $22\text{—}25^\circ$ .

Если в зимнее время необходимо подогревать субстрат, на котором идет выращивание, то летом, наоборот, растения могут страдать из-за его высокой температуры. Уже при  $38\text{—}40^\circ$  по-

глощение воды и питательных веществ приостанавливается, растения подвядают и могут погибнуть. Допускать нагревание растворов и субстрата до такой температуры нельзя. Особенно страдают от высокой температуры корни молодых проростков. Для многих культур температура 28—30° является уже губительной.

При опасности перегрева полезно смачивать поверхность грунта водой, при испарении которой температура понижается. В летнее время в практике тепличного хозяйства широко применяется опрыскивание стекол известковым раствором, который рассеивает прямые лучи солнца и спасает растения от перегрева.

#### *Влияние на рост растений кислотности (pH) раствора*

В поглощении ионов из почвы или из питательного раствора большую роль играет реакция среды. В сильно кислой среде (при  $pH < 4,0$ ) ионы водорода действуют на растение токсически. Они вытесняют из состояния адсорбции все другие катионы, и вместо поглощения можно наблюдать их выделение из корня. В сильно кислой среде меняется внешний облик корней и их строение. В щелочной среде (при  $pH > 8$ ) нарушается поглощение растениями аннонов.

В менее кислой среде (при  $pH = 4,5—5,0$ ) прямого токсического действия ионы водорода не вызывают. Тем не менее в почвах с таким pH наблюдается плохой рост многих сельскохозяйственных растений. Это объясняется тем, что в кислых почвах задерживается поступление кальция в растения, нарушается также деятельность полезной микрофлоры. Помимо того, в кислых почвах скапливается большое количество вредно действующих на рост растений ионов железа, марганца и особенно алюминия, которые в не кислых почвах находятся в связанном состоянии. В кислых почвах понижается поглощение растениями фосфатов и молибдена. Вот почему кислые почвы для получения высоких урожаев необходимо известковать.

При выращивании растений на искусственных питательных средах кислотность раствора меньше сказывается на росте растений из-за отсутствия побочного влияния водородных ионов (табл. 1). При  $pH = 4$  рост рассады томатов оказывается сильно заторможенным, так как в сильно кислой среде нарушается поглощение растениями всех катионов. Зато при  $pH = 5$  и 6 рост рассады был наилучшим. Сдвиг pH раствора в щелочную сторону ( $pH = 8$ ), напротив, резко снизил рост рассады, чего обычно не происходит в почве. Причина этого кроется в том, что при

<sup>1</sup> Символ pH является отрицательным логарифмом концентрации водородных ионов. В воде, являющейся нейтральной,  $pH = 7$ . При подкислении среды значение pH уменьшается от 7 до 0. Децинормальный раствор сильной кислоты имеет  $pH = 1$ . При сдвиге реакции среды в щелочную сторону pH увеличивается от 8 до 14.

нейтральной реакции часть находящихся в растворе минеральных веществ выпадает в осадок в виде фосфорнокислых и углекислых солей кальция, марганца и железа и становится недоступным растению. Эти соли, осаждаясь на поверхности корня, затрудняют также и его дыхание. Нейтральная и щелочная реакции особенно сильно нарушают поглощение железа, которое нацело выпадает в осадок, в результате чего растения заболевают хлорозом, при этом заболевании прекращается образование хлорофилла и наблюдается пожелтение молодых листьев. При хлорозе изменяется не только окраска листа, но нарушается процесс фотосинтеза и дыхания, рост растений резко замедляется. Вот почему при выращивании растений без почвы нужно тщательно следить за тем, чтобы питательный раствор всегда содержал железо в растворенном состоянии. Железо поглощается только молодыми корнями, старые корни железа не поглощают, поэтому при лечении растений от хлороза следует обратить серьезное внимание на создание благоприятных условий для роста новых корней.

Таблица 1

Влияние pH питательного раствора на рост томатной рассады  
(из Эрнова и Джонсона, цит. по Сабинину, 1955)

pH раствора	Сырой вес одного растения (в г)
4,0	35,3
5,0	103,7
6,0	111,8
7,0	100,3
8,0	64,5
9,0	7,0

Приведенные в табл. 1 данные свидетельствуют о том, что наиболее благоприятные условия для роста в искусственных культурах создаются при pH = 5,0—6,0.

В почве под влиянием роста растений pH меняется незначительно. Это вполне понятно. Ведь почва обладает высокой буферностью, т. е. способностью поддерживать pH на определенном уровне. Питательные растворы не обладают такой буферностью, и поэтому pH их легко сдвигается в кислую или щелочную сторону под влиянием роста растений.

Невольно возникает вопрос, почему происходит смещение кислотности раствора. Это совершается в результате неравномерного поглощения корнем катионов и анионов из питательного раствора. Например, если в рецептуру питательного раствора входят аммонийные соли, то раствор обычно подкисляется, так как растения с большой скоростью поглощают аммонийный азот

по сравнению с сопутствующим анионом; наоборот, при наличии селитры растения с большей скоростью потребляют нитратный азот, вследствие чего раствор подщелачивается, так как он обогащается щелочными остатками соли. Опыт показал, что в питательный раствор нельзя добавлять большие количества аммонийных солей, потому что они повреждают растения из-за сильного подкисления раствора. В силу сказанного в наиболее распространенных рецептах растворов преобладает нитратный, а не аммонийный азот, на практике раствор подщелачивается, и его постоянно приходится подкислять.

Таким образом, при выращивании растений без почвы имеется возможность точного регулирования корневого питания, возможность хорошо обеспечивать растения всеми необходимыми питательными веществами. Поэтому в искусственной культуре можно получить высокие урожаи растений. Имеется и целый ряд трудностей. Во-первых, опасность затопления корневой системы, которое может привести к гибели растений. Эта опасность устраняется с помощью различных технических приспособлений. Во-вторых, происходят сдвиги кислотности раствора (обычно его подщелачивают), которые могут вредно отразиться на росте растений. Поэтому необходима частая проверка pH питательного раствора и доведение его до оптимальной величины.

#### **СКОРОСТЬ РОСТА РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТАХ**

В искусственных субстратах растения с первых же дней бесперебойно снабжаются достаточным количеством всех необходимых им питательных веществ в легко доступной форме, что не всегда имеет место в почве, где наличие питательных веществ до некоторой степени зависит от деятельности микроорганизмов. В силу указанных причин рост растений без почвы, особенно рассады, происходит значительно быстрее, чем при обычном способе выращивания. По утверждению многих практиков, рост в искусственной среде идет на 20 и даже на 50% быстрее, чем в самой лучшей почве.

В Ленинградском теплично-парниковом комбинате (опыт Базыриной и Ильинской, рис. 2, 3) рассада томатов выращивалась в опилках, смачиваемых питательным раствором, рассада огурцов росла в баке на водном растворе. Рост ее намного опередил рост рассады, выросшей в торфоперегнойных горшочках, специально предназначенных для выращивания рассады. Это преимущество в настоящее время широко используется агрономами. Имеются указания, что некоторые хозяйства Америки и Германии предпочитают таким способом выращивать рассаду с последующей высадкой ее в грунт. Такое мероприятие продиктовано следующими соображениями: срок выращивания сокращается, количество работы по уходу уменьшается, вырастает здоровая, хорошо приживающаяся в грунте рассада. Интерес представ-

ляют сведения о выращивании рассады томатов без почвы в незащищенном грунте в Калифорнии для нужд северных штатов

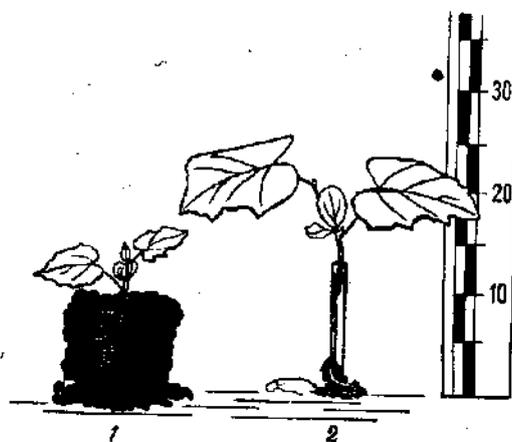


Рис. 2. Сопоставление скорости роста огуречной рассады: 1 — в почве; 2 — в водном растворе.

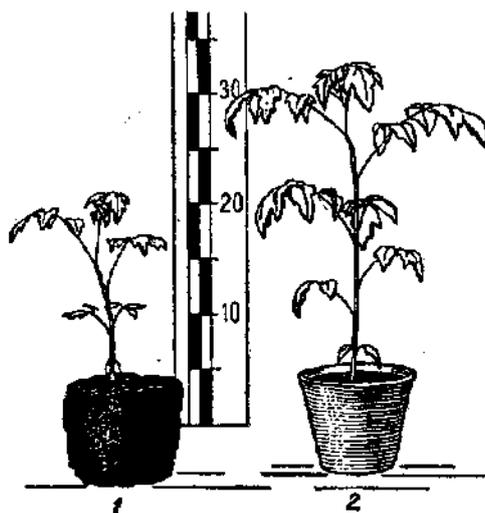


Рис. 3. Сопоставление скорости роста рассады томатов: 1 — в почве; 2 — в опилках, обильно смачиваемых питательным раствором.

Америки. В первый год хозяйству был сделан заказ на 90 000 шт., на следующий год заказ увеличен до 400 000 шт. Агрономы очень высоко оценили такой способ получения рассады, она хорошо

приживается и не заболевает. В 28-дневном возрасте ее тщательно упаковывают в ящики и отправляют на грузовике в северные штаты. Быстрота роста рассады положительно сказывается и на сроке плодоношения. Обычно такие томаты созревают на две недели раньше. Высокая скорость роста растений в искусственных субстратах наблюдается и в других случаях. Английские садоводы получают в песке гвоздику I класса на 4 недели раньше, чем в почве.

Орхидеи на питательном растворе зацветают на год раньше, чем при обычном выращивании во мху. Администрация фран-

Урожай томатов при выращивании их  
(в теп)

Сорт	Субстрат	Урожай на 1 растение (в кг)	Урожай на 1 м <sup>2</sup> (в кг)
Томаты	Почва . . . . .	5,4	48,6
	Песок . . . . .	8,1	72,8
	Водная культура . . . . .	6,5	58,7
Томаты	Почва . . . . .	4,53	27,2
	Песок . . . . .	5,77	34,6
Томаты Гельфрухт *	Почва . . . . .	2,7	7,2
	Гравий . . . . .	4,8	13,0
	Водная культура . . . . .	3,9	10,4
Томаты	Почва . . . . .	1,08	10,8
	Гравий . . . . .	1,88	18,8
	Водная культура . . . . .	1,6	16,0
Томаты Первенец	Почва . . . . .	Не приводится	6,5
	Сфагнум . . . . .		10,1
	Гравий . . . . .		9,6
Томаты Тепличный ранний-4В	Почва . . . . .	" "	7,7
	Гравий . . . . .	" "	10,1
	Водная культура . . . . .	" "	8,8
Томаты Уральский	Почва . . . . .	" "	10,0
	Гравий . . . . .	" "	12,0
	Водная культура . . . . .	" "	5,5
Томаты Лучший из всех	Почва . . . . .	" "	11,6
	Гравий . . . . .	" "	13,6
	Водная культура . . . . .	" "	10,4
Томаты **	Почва . . . . .	" "	19,8
	Сфагнум . . . . .	" "	20,7
Томаты Лучший из всех ***	Почва . . . . .	" "	20,3
	Щебень . . . . .	" "	18,1

\* Урожай в гравийной культуре поспел на две недели раньше, чем

\*\* Расчет ялся на 1 м<sup>2</sup> полезной площади.

\*\*\* Созревание в парниках началось на 9 дней раньше в варианте на

цузской фабрики цветов в Антибе считает, что беспочвенное выращивание роз дает более выгодный годовой оборот, так как растения быстрее развиваются.

#### УРОЖАЙНОСТЬ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ СУБСТРАТАХ

Одним из наиболее часто упоминаемых преимуществ выращивания растений без почвы является получение высоких урожаев. Еще Жерике, пионер производственных водных культур, получил с 1 м<sup>2</sup> бака до 90 кг томатов (за год культуры). Эти бас-

в почве и искусственных субстратах  
лицах)

Таблица 2

Продолжительность опыта	Место, где ставился опыт	Автор
Февраль—август	США, Калифорния	Хогланд и Арнон (1940)
18 IV—30 IX	Банкфельд	Темпельман (1947)
17 I—27 VII	ГДР, Берлинская с.-х. академия	Гейсслер (1955)
21 I—14 VII	СССР, Ленинград, Тепло-парниковый комбинат	Базырина и Ильинская (1954)
22 II—2 VII	Там же	Берсон (1958)
Февраль—сентябрь	Московский нефтеперерабатывающий завод	Мураш и Горшунова (1957)
То же	Там же	Мураш и Горшунова (1957)
То же	Там же	Мураш и Горшунова (1957)
То же	Моск. обл., Марфино	Шелудько и Шувалов (1953)
С апреля по август	ВДНХ	Спиридонова и Ващенко (1959)

в почве.

щебне. Зрелых плодов на щебне—11,2 кг, на почве—2,1 кг.

Таблица 3

## Урожай огурцов при выращивании их в почве и на искусственных субстратах

Сорт	Субстрат	Урожай на 1 растение (в кг)	Урожай на 1 м <sup>2</sup> (в кг)	Продолжительность опыта	Место, где ставился опыт	Автор
Огурцы Шлотт-эстниг	Почва . . . . .	Не приводится	20,5	9 I—19 IX	ГДР, Берлинская с.-х. академия	Гейсслер (1953)
	Гравий . . . . .		27,0			
	Водная культура		20,5			
Огурцы Кляиские	Почва . . . . .	3,40	34,4	21 I—27 IX	СССР, Ленинград, Теплично-парниковый комбинат Леннарпита	Базырина и Ильинская (1954)
	Гравий . . . . .	3,99	39,9			
	Водная культура	3,32	33,2			
Огурцы	Почва . . . . .	Не приводится	12,4	Февраль—сентябрь	Там же	Берсон (1958)
	Гравий . . . . .		14,5			
	Сфагнум . . . . .		19,3			
	Водная культура		10,8			
Огурцы Кляиские	Грав.-песч. культура . . . . .	То же	39,1	То же	Московский нефтеперерабатывающий завод	Мураш и Горшунова (1957)
	Почва . . . . .		31,1			
	Гравий . . . . .		36,9			
Огурцы Ленинградский Тепличный-23	Почва . . . . .	. . .	18,9	. . .	Там же	Мураш и Горшунова (1957)
	Гравий . . . . .		29,6			
	Грав.-песч. культура . . . . .		30,6			
Огурцы Кляиские	Почва . . . . .	. . .	8,2	. . .	СССР, Салехара	Тульженкова (1953)
	Песок . . . . .		10,2			
Огурцы Кляиские	Почва . . . . .	. . .	8,9	. . .	Там же	Тульженкова (1953)
	Мох . . . . .		8,2			
	Песок . . . . .		14,0			

Огурцы Кляиские	Почва . . . . .	Не приводится	24,8	Февраль—сентябрь	Ленинград, Теплично-парниковый комбинат Леннарпита	Голятина (1958)
	Мох . . . . .		38,7			
	Гравий . . . . .		29,1			
Огурцы Кляиский × Ленинградский тепличный	Почва . . . . .	То же	26,0	С 22 февраля в течение 192 дней	Там же	Голятина (1958)
	Мох . . . . .		30,9			
	Гравий . . . . .		33,3			
Огурцы*	Почва . . . . .	. . .	6,6	С 7 III по 15 V	Лосиноостровское отд. эксперим. базы Научно-исследовательского овощного хозяйства	Ващенко и Корбут (1957)
	Водный раствор		8,4			
	Гравий . . . . .		7,5			
	Щебень . . . . .		8,0			
Огурцы**	Почва . . . . .	. . .	7,7	. . .	Совхоз „Тепличный“	Корбут (1959)
	Гравий . . . . .		9,4			
	Почва . . . . .		24,3 ± 0,58			
Огурцы Кляиские	Гравий (d=6 мм)	. . .	33,3 ± 1,32	12 I—9 VIII	Там же	Ващенко, Латышев, Смирнова (1959)
	Гравий (d=10 мм)		33,5 ± 1,07			
	Почва . . . . .		14,2			
Огурцы Многоплодные	Почва . . . . .	. . .	22,1	24 III—20 IX	ВДНХ	Спиридонова и Ващенко (1959)
	Гравий . . . . .		26,2			
Огурцы Многоплодные*	Почва . . . . .	. . .	23,4	Даты не приведены	Институт овощного хозяйства	Спиридонова и Ващенко (1959)
	Гравий (слой 15 см)		30,5			
	Щебень (15 см)		32,7			
	Щебень (20 см)		22,7			
	Водный раствор		22,7			
Огурцы (в парниках)	Почва . . . . .	. . .	9,0	То же	Колхоз „Марупе“ Рижского р-на	Абеле (1959)
	Песок + гравий . . . . .		12,7			
	Сфагновый мох . . . . .		15,0			

\* На 1 м<sup>2</sup> полезной площади.\*\* На 1 м<sup>2</sup> инвентарной площади.

нословные цифры удивляли специалистов. Многие сельскохозяйственные учреждения ставили специальные опыты и сравнивали урожай растений в почве и в беспочвенной культуре. Почва, которая служила контролем, обильно удобрялась перегноем и в ряде случаев дезинфицировалась.

В табл. 2 сведены данные опытов с томатами, проведенных в различных широтах. Наиболее высокий урожай томатов наблюдается при выращивании их без почвы. Особенно хорошо они растут в гравии и песке. В водной культуре урожай плодов значительно ниже, возможно, из-за недостаточной аэрации. Очень высокие урожаи получены в Калифорнии за счет высокой инсоляции. В северных широтах освещенность в теплицах является лимитирующим фактором урожайности томатов.

Табл. 3 дает представление об урожае огурцов. В гравийной культуре урожай их был более высокий, чем в почве. Водная культура при выращивании огурцов не показала особых преимуществ: урожай их либо был равен урожаю в контроле, либо оказывался сниженным.

Таким образом, *гравийная культура овощей в теплице является весьма перспективной в отношении урожайности.*

В открытом грунте при выращивании растений в искусственных культурах также были получены высокие урожаи.

К сожалению, точных сравнительных опытов имеется очень мало, так как промышленные установки по выращиванию овощей в искусственной культуре строятся обычно там, где нет хорошей почвы. Урожаи, полученные в установках на бесплодных островах Вознесения, Уэйк, Аруба, а также Пуэрто-Рико и др., являются очень высокими (на о-ве Аруба в год с 1 га снимают по 125 т овощей).

В США урожай картофеля в искусственной культуре составил 156 т/га, томатов — 150—700 т/га, гороха — 25 т/га, огурцов — 37 т/га.

В Индии (Шолто-Дуглас — Sholto-Douglas, 1955) урожай картофеля составил 88 т/га, томатов — 450 т/га, риса — 12,5 т/га (при среднем урожае в почве соответственно: 24,2 т/га, 12—25 т/га и 1,1 т/га).

В течение ряда лет в гравийной установке Петергофского биологического института выращивались картофель, капуста, кабачки, редис. Были поставлены также опыты с луком и морковью (табл. 4).

Приведенные материалы показывают, что при выращивании растений без почвы можно получить высокие и иногда даже рекордные урожаи.

Можно ли считать, что искусственная культура таит в себе какие-то особые возможности для получения высоких урожаев растений, которых нельзя создать в почве? Нам кажется, что высказывания некоторых специалистов об особых возможностях получения сверхвысоких урожаев при этом способе выращи-

ния являются преувеличенными. В искусственной культуре получить высокие урожаи проще, так как при этом способе выращивания легче создать наиболее благоприятные условия питания растений во все фазы их жизни, можно хорошо регулировать

Таблица 4

Сравнение урожаев в почве и гравийной культуре  
(установка Биологического института Ленинградского университета)

Культура	Рекордные урожаи в почве (в кг/10 м <sup>2</sup> )	Урожай в гравийной культуре (в кг/10 м <sup>2</sup> )
Картофель . . . . .	111*	70
Капуста № 1 . . . . .	95,5*	101,5
Морковь . . . . .	147,7*	72
Кабачки . . . . .	—	138
Лук . . . . .	46,3**	20

\* Урожай получен в Московской области.

\*\* Урожай получен в Арзамасской области.

температурные условия в зоне корневой системы (подогревом или охлаждением раствора). Все это и создает возможности получения высоких урожаев.

#### КАЧЕСТВО ОВОЩЕЙ И ЦВЕТОВ В БЕСПОЧВЕННОЙ КУЛЬТУРЕ

Почти за 30-летнее существование промышленного метода выращивания растений без почвы неоднократно проверялось качество получаемой продукции.

На опытной станции Джелотт-Хилл (Англия) проводились систематические анализы минерального состава плодов томатов, выращенных в почве, песчаной и гравийной культуре. Во всех типах культур не было найдено существенной разницы в содержании сухих веществ, азота, фосфора и калия, а также по содержанию микроэлементов.

По данным Арнона и Хоглэнда (Arnon a. Hoagland, 1939), Гейслера (1956), Берсона (1958) и многих других, вкусовые качества плодов томатов и огурцов, содержание в них витамина С, каротина, сахаров и сухих веществ существенно не различаются при выращивании их в теплице, в почве или беспочвенной культуре. Стаутон (Stoughton, 1955), суммируя результаты всех анализов, выполненных экспертами по питанию, многочисленных образцов овощей, выращенных в песчаной, гравийной и почвенной культурах, пришел к заключению, что существенной разницы между почвенной и беспочвенной культурами ни по одному показателю, которые могут быть определены химически, не имеется.

Для окончательного суждения о питательной ценности продуктов, полученных при беспочвенном выращивании растений, были поставлены опыты со скормливанием морским свинкам в качестве единственного источника питания травы, выращенной в почве и в искусственной культуре (Арнон, Симс, Морган — Arnon, Simms, Morgan, 1947). В течение 12 недель морские свинки росли одинаково как при питании травой, выращенной в водной культуре, так и той, которая была выращена в почве, т. е. по питательной ценности растения, выращенные в почве и в искусственной культуре, не различаются.

Растения, выросшие без почвы, раньше начинают плодоносить, обычно крупнее и ровнее, чем те, которые выращиваются в почве. Товарная оценка томатов, выращенных в почве и в гравии, показала, что из почвенной культуры 60% томатов можно отнести к первому сорту, в то время как из томатов, выращенных в искусственной культуре, к первому сорту можно было отнести 75% всех плодов (оценка проводилась в Реддингском университете).

По данным Гейслера (1956), более раннее и дружное начало плодоношения у огурцов и томатов в гравийной культуре позволяет раньше приступить к массовой уборке плодов и продавать их по более высокой цене. За счет этого при прибавке урожая томатов по сравнению с почвенной культурой на 80% денежная выручка увеличилась на 215%.

Те же результаты получены для огурцов.

Высокое качество продукции отмечается и в цветоводстве. Цветы, выращенные без почвы, обычно крупнее, ароматнее, имеют более длинные стебли и дольше сохраняют свой свежий вид, что очень важно при их пересылке.

В 1940 г. на выставке цветов первая премия была присуждена за хризантему, выращенную без почвы. Очень красивы в беспочвенной культуре орхидеи.

При выращивании гвоздики в гравийной культуре (Муссенброк и Бич — Mussenbrock a. Beach, 1948) оказалось, что в среднем на одно растение приходилось 10,5 цветов, а в почве — 8,9 цветов. Прибыль при продаже гвоздики, выращенной в гравийной культуре, была на 37% больше, чем при выращивании ее в почве.

#### **ДЕЗИНФЕКЦИЯ СУБСТРАТА И ОСОБЕННОСТИ УХОДА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАСТЕНИЯ БЕЗ ПОЧВЫ**

Получение овощей и цветов в теплицах в зимне-весенний период обходится очень дорого, поэтому необходимо все внимание направить на то, чтобы получить с единицы поверхности в сжатые сроки больше продукции высокого качества. Большим недостатком остекленных помещений является отсутствие в них ультрафиолетовых лучей, которые являются мощным дезинфицирующим средством, поэтому в теплицах, где поддерживается

высокая температура и влажность воздуха, растения не только хорошо произрастают, но очень часто поражаются грибными заболеваниями. На эти растения нападают вредители, что нередко приводит к гибели всего урожая. Поэтому для получения устойчивых урожаев перед посадкой теплица и почва тщательно дезинфицируются. Пролезинфицировать теплицу и находящееся в ней оборудование довольно легко. Достаточно опрыскать ее за два-три дня до высадки растений слабым раствором формалина или другими химикатами. Это мероприятие не требует больших затрат средств и времени. Значительно сложнее обстоит дело с дезинфекцией почвы. Самым распространенным и, пожалуй, наиболее эффективным средством, применяемым для этой цели, является пропарка почвы, но это дорогостоящее мероприятие, которое отнимает много времени и сил, не всегда себя оправдывает. При такой дезинфекции не удается освободиться от всех вредителей растений. Особенно трудно избавиться от галловой нематоды, которая является буквально бичом тепличного хозяйства. Этот паразит, поселяясь на корнях растений, причиняет им большой вред. При пропарке личинки перемещаются в нижние слои почвы и при наступлении благоприятных условий вновь перекочевывают в верхние слои, поселяясь на корнях вновь высаженных растений. Для борьбы с вредителями по существующим правилам ведения тепличного хозяйства землю в теплицах следует менять по крайней мере один раз в три года. Это мероприятие ложится тяжелым бременем на хозяйство: особенно оно трудно осуществимо для теплиц, находящихся в черте города. Для того чтобы сменить грунт в теплице площадью в 1000 м<sup>2</sup>, потребуется по крайней мере привести землю на 200 грузовиках и вывести такое же количество старой. Но не только почва завозится в теплицы — ежегодно в больших количествах в нее привозят органические удобрения: перегной, навоз и торф. При выращивании растений без почвы ни навоза, ни перегноя не требуется. Правда, для завоза грунта в виде гальки, крупного песка, битого кирпича или шлака потребуется также немало машин, но привезенный субстрат может служить многие годы без замены; продезинфицировать его не представляет никаких трудностей. *Чтобы произвести надежную дезинфекцию, потребуется не более двух дней, причем даже такие вредители, как нематода или проволочник, погибнут. Все это является большим преимуществом гидропоники по сравнению с обычным способом выращивания растений.*

Дезинфекцию можно производить:

1. Пропаркой стеллажей вместе с находящимся в них грунтом. Опыт показал, что этот прием вполне надежен в смысле дезинфекции, но бетон при пропарке часто повреждается, поэтому в больших хозяйствах им не пользуются.

2. 1% раствором формалина. Для стерилизации теплицы ее опрыскивают таким раствором, удалив предварительно из теп-

лицы растения. Для дезинфекции стеллажей они доверху наполняются раствором формалина. Через 24 часа раствор удаляется, стеллажи промываются водою до тех пор, пока она не будет давать реакции на присутствие формалина.

3. 3% раствором серной кислоты. Для получения раствора следует прибавить к 1000 л воды 15 л крепкой серной кислоты. При приготовлении раствора необходимо помнить, что серную кислоту следует добавлять к воде, а не наоборот, иначе раствор сильно нагревается и, разбрызгиваясь, может причинить опасные ожоги. При стерилизации стеллажи наполняются раствором, который через 24 часа удаляется, затем стеллажи промываются водою до тех пор, пока промывные воды не будут давать нейтральную реакцию.

4. 0,05% раствором марганцовокислого калия. Для получения такого раствора в 1000 л воды растворяют 500 г перманганата. Для дезинфекции грунта в этом случае поступают точно так же, как уже говорилось в пунктах 2 и 3. Однако опыт показал, что после трехкратной дезинфекции на поверхности гравия скапливаются окислы марганца, которые трудно отмыть водою, но за счет кислотности питательного раствора они попадают в гравий в больших количествах, чем это предусматривается рецептурой, причиняя вред растению.

*Примечание.* 1000 л дезинфицирующего раствора хватает для наполнения стеллажей, поверхность которых равняется 12 м<sup>2</sup>. Раствор после дезинфекции стеллажей не следует выливать, его можно использовать для стерилизации многократно.

*Важным преимуществом выращивания растений без почвы является сильное сокращение ручного труда по уходу за растениями.* При этом способе совершенно становятся ненужными поливка, прополка, рыхление почвы, подкормка растений. Прополка не нужна, так как грунт не содержит семян сорняков, рыхление почвы отпадает, так как грунт не слеживается и в достаточной мере снабжает корни растений кислородом. Вместо подкормки и поливки насос подает питательный раствор, который одновременно снабжает растения и водою и питательными веществами. Подачу питательного раствора можно сделать автоматической, что крайне упрощает уход за большими теплицами. Считают, что для обслуживания теплицы в 4000 м<sup>2</sup> потребуется не более двух человек.

#### **ПРИЧИНЫ МАЛОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТОДА И ЕГО НЕДОСТАТКИ**

Метод выращивания растений без почвы перспективен, особенно в тепличном хозяйстве и в тех местах, где нет почв или они очень плохи. Но несмотря на свое 30-летнее существование, метод этот не получил всеобщего признания. В чем же причина этого?

Основная причина — большие капиталовложения на оборудование установок. При выращивании растений без почвы необходимы бетонные канавки, система труб, насосы, резервуары для хранения питательных растворов. Все эти затраты могут окупиться в сравнительно короткий промежуток времени только при производстве дорогостоящей продукции — цветов, ранних овощей высокого качества, а также большими урожаями с единицы площади. Вот почему в настоящее время в промышленных установках в основном выращиваются цветы, рассада и ранние овощи: томаты, огурцы и т. п. Ряд специалистов считает, однако, что издержки, затраченные на устройство искусственных культур, оправдывают себя сравнительно быстро. Так, Робинс (Robins, 1958), имеющий многолетний широкий опыт по устройству больших ферм на острове Аруба и в Пуэрто-Рико, утверждает, что в 1946 г. в США через 90 дней после посева он уже оправдал все издержки, затраченные на оборудование гравийных культур.

Экономическая эффективность выращивания овощей без почвы в СССР проверялась Берсоном (1958) в Теплично-парниковом комбинате Леннарпита. Им было доказано, что беспочвенное выращивание томатов является более рентабельным, чем почвенное, даже с учетом затрат на переоборудование стеллажей.

Голятина (1958) подсчитала, что на  $1 \text{ м}^2$  при выращивании огурцов в почве затрачивается 0,77 чел-дня, а в гравии — 0,58 чел-дня.

По данным Корбута (1959), в совхозе «Тепличный» затраты труда в теплицах площадью  $600 \text{ м}^2$  составляют в гравийной культуре 500,5 чел-ч, в почвенной — 741,5; при этом огурцов собрано в гравийной 5659 кг, в почвенной 4665 кг. Стоимость переоборудования теплицы составляла 58,8 тыс. руб., в том числе строительная часть — 27,9 тыс., трубопровод — 12,6 тыс. и оборудование и электроаппаратура — 18,3 тыс. руб. На основании проведенных опытов и расчетов Корбут (1959), Спиридонова и Ващенко (1959) считают беспочвенную культуру методом, быстро оправдывающим себя в экономическом отношении.

Тем не менее некоторые исследователи, в частности Ресслер (Rössler, 1950), печатающий в специальном журнале «Гидрокультура» много статей по выращиванию растений в искусственной культуре, весьма критически относятся к этому методу. Ресслер утверждает, что если гидропоника была бы выгодна, то все садоводы перешли бы уже на этот метод. Но коммерсанты, как правило, не идеалисты, а теплицы — не лаборатория, а источники дохода. Широкого развития гидропоника не может получить, например, в Германии из-за того, что в нее ввозятся из-за границы овощи по сравнительно дешевой цене, с которой не может конкурировать тепличная продукция.

Другой причиной малого распространения метода является необходимость тщательно следить за условиями аэрации корня,

кислотностью питательного раствора и его химическим составом. Это требует специальной подготовки: необходимо уметь производить простейшие агрохимические анализы и иметь оборудование для их проведения; уметь выращивать растения; хорошо знать основы физиологии растений и иметь достаточное представление о химии. Если люди, занимающиеся выращиванием растений в искусственной культуре, недоучитывают важности проверки кислотности раствора и хорошей аэрации корня, то они могут или совсем погубить растения, или получить растения больные (из-за недостатка тех или иных питательных веществ), что приводит к резкому снижению урожая.

Для пропаганды этого метода в настоящее время в Германии, Англии, Голландии, Индии созданы общества, которые организуют съезды по обмену опытом любителей и садоводов, выпускают инструкции и популярные брошюры, по которым можно ознакомиться с методом. Некоторые общества выпускают готовые удобрительные таблетки, которые приготавливаются согласно рецептуре исследовательских учреждений. Последнее мероприятие сыграло исключительно благотворную роль во внедрении этого метода. Пользуясь такими таблетками, любитель, даже не имеющий никакого представления о химии, может, не рискуя урожаем, сам приготовить питательный раствор.

Одной из причин слабого распространения метода в нашей стране является малая осведомленность о нем не только широких масс, но и агрономов и руководителей тепличных хозяйств. Мало ставилось крупных производственных опытов, где бы учитывалась экономическая эффективность этого приема в разных условиях.

Из всего сказанного в этой главе можно сделать вывод о том, что выращивание растений в искусственных субстратах все же имеет ряд преимуществ перед выращиванием их в почве:

1. Возможность создать для растений оптимальные условия корневого питания и водоснабжения.
2. Экономное использование воды и питательных веществ.
3. Возможность регулирования температуры корнеобитаемого слоя.
4. Ускорение развития растений, в частности ускорение выращивания рассады и цветов.
5. Высокий урожай.
6. Высокое качество овощей и цветов.
7. Легкая возможность дезинфекции субстрата.
8. Уменьшение ручного труда при уходе за растениями (отсутствии прополок, поливов и т. п.).

---

**ГЛАВА III**  
**ПИТАТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ**  
**РАСТЕНИЙ**

Состав питательного раствора имеет исключительно важное значение при выращивании растений на искусственных субстратах. При составлении его необходимо придерживаться следующих принципов:

1. В питательный раствор должны входить все те необходимые для роста растений питательные вещества, без которых растения не могут нормально развиваться (макро- и микроэлементы).

2. Соотношение питательных веществ для составления питательного раствора подбираются по фактическому содержанию солей в золе растений и по скорости поглощения их из раствора в разные периоды жизни растения.

3. Важно подобрать не только соотношение питательных веществ, но и общую концентрацию раствора. Она должна быть достаточно высокой и в то же время не токсичной для растений.

4. Необходимо подбирать такие смеси солей, в которых не было бы резкой разницы в поглощении катионов и анионов, в противном случае может наблюдаться сильное подкисление или подщелачивание раствора.

5. Соли, в состав которых входят необходимые для растений питательные вещества, следует выбирать особенно тщательно, так как некоторые сопутствующие катионы и анионы (например, Na и Cl) неблагоприятно влияют в больших количествах на рост и развитие растений.

6. При приготовлении питательных растворов должно учитываться и качество применяемой воды.

7. Оптимальное соотношение питательных веществ и концентрация раствора могут зависеть от времени года, от погоды и т. д.

Рассмотрим прежде всего химический состав растений.

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ

Возьмем для примера три взрослых растения огурца вместе с корневой системой и плодами, предположив, что они весят 1000 г. После высушивания вес растений уменьшится приблизительно на 800 г, так как вся содержащаяся в них вода испарится (800 г воды содержат 711 г кислорода и 89 г водорода). Оставшаяся сухая масса растительного материала состоит из клеточных оболочек паренхимы, механической ткани и проводящей системы, запасных веществ: крахмала, сахара и жиров, протоплазмы и веществ, которые были растворены в клеточном соке. В 200 г сухих веществ в наибольшем количестве содержатся углерод, получаемый растениями из воздуха в процессе воздушно-светового питания, кислород и водород, получаемые растением из воды.

Таблица 5  
Химический состав 1000 г огуречных растений

Название химических элементов	Содержание химических элементов (в г)	
	в воде тканей	в сухом веществе
Кислород . . . . .	711	84
Водород . . . . .	89	13
Углерод . . . . .	—	90
Азот . . . . .	—	4,7
Калий . . . . .	—	5,9
Магний . . . . .	—	0,2
Кальций . . . . .	—	1,1
Фосфор . . . . .	—	0,5
Сера . . . . .	—	0,2
Железо . . . . .	—	0,04
Марганец . . . . .	—	0,002
Бор . . . . .	—	0,0002
Медь . . . . .	—	0,0004
Цинк . . . . .	—	0,0006
Всего . . . . .	800	199,6432

Зольных веществ в оболочках клеток содержится мало. Плазма вместе с ядром, пластидами и другими органоидами имеет в своем составе, кроме углерода, водорода и кислорода, значительное количество азота, фосфора, серы, входящих в состав белка, а также другие зольные элементы в небольших количествах (табл. 5). Основная масса катионов (К и Са) — 80—90% от их общего количества — сосредоточена в клеточном соке, обуславливая осмотические свойства клетки.

При сжигании сухих тканей растения углерод, водород и основная масса кислорода улетят в виде углекислого газа и паров воды. В виде газа улетучится и азот (в молекулярном виде). Все остальные вещества в виде окислов и солей останутся в золе, почему их и называют зольными элементами. Соли азота и зольных элементов растения получают из почвы, и они должны составлять основу питательного раствора, входя в его состав в тех же соотношениях, в которых они находятся в растении.

Хотя относительная доля азота и зольных элементов невелика, но они необходимы для развития растений. Если исключить из питания хотя бы один из них, то растения начинают сильно задерживаться в росте и, потратив его запасы, содержащиеся в семени, погибают.

#### **ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Функции отдельных минеральных элементов, которые растения получают из почвы, крайне разнообразны. Ни один процесс, совершающийся в растении, не протекает без их участия.

Во-первых, минеральные соли необходимы как материал для построения протоплазмы и разнообразных клеточных органоидов.

Во-вторых, ряд элементов, получаемых растениями через корни, играет большую роль в процессах обмена веществ и энергии.

В-третьих, минеральные элементы обеспечивают определенную структуру коллоидов живого вещества, без которой не могут осуществляться жизненные процессы. Катионы и анионы влияют на проницаемость клеточных мембран, с которыми связаны проникивание и передвижение питательных веществ в клетках.

В-четвертых, минеральные соли, содержащиеся в клеточном соке, определяют осмотические свойства клеточного сока, без которых растение не может насыщать воду и придавать должную напряженность своим тканям. Благодаря последнему свойству травянистые растения, не имеющие скелета, придают своим органам, состоящим из нежных тканей, определенную форму.

Наконец, в-пятых, минеральные ионы входят в состав ферментных систем и являются катализаторами многих физиологических процессов.

К сказанному следует добавить, что один и тот же элемент обычно выполняет не одну из перечисленных функций, а несколько, в зависимости от своего местонахождения. Входя в молекулу того или иного соединения, он является строительным материалом, находясь в клеточном соке в виде солей, принимает участие в осмотических свойствах клетки, адсорбируясь на поверхности коллоидов протоплазмы, обеспечивает ей определенную структуру.

Остановимся кратко на основных функциях минеральных веществ.

## Макроэлементы

Элементы, количество которых в растениях составляет проценты или десятые доли процента, называют макроэлементами. К ним относят азот, фосфор, серу и катионы — калий, магний и кальций; железо занимает промежуточное положение между макро- и микроэлементами.

**Азот.** Азот хорошо усваивается растением из солей азотной кислоты и аммония. Он является одним из главнейших элементов корневого питания, так как входит в состав белков всех живых клеток. Сложная молекула белка, из которого построена протоплазма, содержит от 16 до 18% азота. Протоплазма представляет собой живое вещество, в ней совершается главнейший физиологический процесс — дыхательный обмен. Лишь вследствие деятельности протоплазмы в растении происходит сложный синтез органических веществ. Азот является составной частью нуклеиновых кислот, входящих в состав ядра и являющихся носителями наследственности. Значение азота для растительной клетки определяется еще тем, что он является неотъемлемой частью хлорофилла — зеленого пигмента растений, от присутствия которого зависит фотосинтез; он входит в состав ферментов, которые регулируют реакции обмена веществ, и ряда витаминов. Очень небольшое количество азота встречается в растении в неорганической форме. При избытке азотного питания или при недостатке света в клеточном соке накапливаются нитраты.

Все формы азота в растении превращаются в аммиачные соединения, которые, вступая в реакцию с органическими кислотами, образуют аминокислоты и амиды — аспарагин и глютамин. Аммиачный азот обычно не скапливается в растении в значительных количествах. Это наблюдается только при недостатке углеводов; в этих условиях растение не может его переработать в безвредные органические вещества — аспарагин и глютамин. Избыток аммиака в тканях зачастую приводит к их повреждению. Особенно с этим обстоятельством следует считаться при выращивании растений в теплице в зимнее время. Чрезмерная доза аммиачного азота в питательном растворе и недостаточность освещения, которая снижает интенсивность фотосинтеза, могут привести к повреждению листовой паренхимы из-за скопления аммиака.

Азот необходим овощным растениям в течение всей вегетации, так как они постоянно строят новые органы. Если растение испытывает недостаток в азоте, то это прежде всего сказывается на темпе роста. Новые побеги почти не образуются, размеры листьев уменьшаются. При отсутствии азота в старых листьях хлорофилл разрушается, вследствие чего листья принимают бледно-зеленую окраску, а затем желтеют и отмирают. При сильном голодании начинают желтеть листья средних ярусов,

а верхние листья принимают бледно-зеленую окраску. Борются с этим явлением при выращивании растений без почвы довольно легко. Достаточно прибавить к питательному раствору азотно-кислую соль, чтобы дней через 5—6 листья приняли темно-зеленую окраску и растение начало образовывать новые побеги.

**Сера.** Сера усваивается растениями только в окисленной форме — в виде аниона  $SO_4^{//}$ . В растении основная масса аниона сульфата восстанавливается до  $-SH$  и  $-S-S-$  групп. В виде таких группировок сера входит в состав некоторых аминокислот и белков. Сера входит также в состав ряда ферментов, в том числе ферментов, участвующих в процессе дыхания. Таким образом, соединения серы играют важную роль в процессах обмена веществ и энергии.

Часть серы находится в клеточном соке в виде иона сульфата. При распаде серосодержащих соединений в присутствии кислорода происходит окисление восстановленной серы до сульфата. При отмирании корня в условиях, когда ему не хватает кислорода, серосодержащие соединения распадаются с образованием сероводорода, который ядовит для корня. Это одна из причин быстрой гибели корневой системы при затоплении ее и недостатке кислорода. Недостаток серы в питательном растворе наблюдается редко. При недостатке серы, так же как и при недостатке азота, начинается разрушение хлорофилла, но первыми испытывают недостаток серы верхние листья.

**Фосфор.** Фосфор усваивается растениями в окисленной форме в виде солей фосфорной кислоты. Фосфор входит в состав сложных белков — нуклеопротеидов, важнейших веществ ядра и плазмы. Фосфор входит также в состав фосфатидов и жироподобных веществ, играющих большую роль в образовании поверхностных мембран клетки, в состав ряда ферментов, многих физиологически активных соединений. Он играет огромную роль в процессах гликолиза и аэробного дыхания. Освобождающаяся в этих процессах энергия накапливается в виде богатых энергией фосфатных связей; эта энергия затем используется для синтеза самых различных веществ.

Фосфор принимает участие и в таком важном процессе жизнедеятельности растений, как фотосинтез. Фосфорная кислота в растении не восстанавливается, а связывается с органическими веществами, образуя фосфорные эфиры. Если фосфор в окружающей среде содержится в избытке, то он накапливается в клеточном соке в виде минеральных солей, которые являются запасным фондом фосфора. Благодаря буферным свойствам соли фосфорной кислоты регулируют также кислотность содержимого клетки, поддерживая ее на благоприятном уровне. Фосфор особенно необходим в ранние периоды жизни растений. При отсутствии фосфора в начале жизни и при последующей подкормке растения фосфорными солями листья растений некоторое время страдают из-за усиленного поступления фосфора и нарушенного

в связи с этим азотного обмена. Вот почему особенно необходимо с первых дней жизни обеспечить растению хорошее условие фосфорного питания.

### Катионы

Калий, кальций и магний усваиваются из любых растворимых солей, анионы которых не обладают токсическим действием. Доступными они являются и находясь в поглощенном состоянии, т. е. связанные с каким-нибудь нерастворимым веществом, обладающим ясно отраженными кислотными свойствами. Попав в растения, калий и кальций в своей массе не претерпевают никаких химических превращений, но они необходимы для питания. Их нельзя заменить другими элементами, как нельзя ничем заменить азот, фосфор и серу.

Основная физиологическая роль калия, кальция и магния, вернее их ионов, состоит в том, что, адсорбируясь на поверхности коллоидных частиц протоплазмы, они создают вокруг них определенные электростатические силы. Эти силы играют немаловажную роль в создании структуры живого вещества, без которой не могут происходить ни согласованная деятельность ферментов, ни синтез клеточных веществ. Ионы удерживают вокруг себя различное количество молекул воды, в результате чего объем иона является неодинаковым. Неодинаковы и силы, удерживающие ион на поверхности коллоидной частицы. Ион кальция имеет наименьший объем — он с большей силой удерживается на поверхности коллоидов. Ион калия имеет наибольший объем, в силу чего образует менее стойкие адсорбционные связи и может быть вытеснен ионом кальция. Ион магния занимает промежуточное положение.

Поскольку, адсорбируясь, ионы стремятся удержать свою водную оболочку, то они определяют осводненность и водоудерживающую силу коллоидов. При наличии калия водоудерживающая способность ткани увеличивается, при наличии кальция — понижается. Таким образом, решающим в создании определенных внутренних структур является соотношение катионов, а не только их абсолютное содержание.

**К а л и й.** Калий в растениях содержится в больших количествах, чем любой другой катион, особенно в их вегетативных частях. Основная масса калия сосредоточена в клеточном соке. В молодых клетках, богатых протоплазмой, значительная часть калия находится в адсорбированном состоянии. Калий оказывает большое влияние на коллоиды плазмы, он повышает их гидрофильность («разжижает» плазму). Калий является также катализатором ряда синтетических процессов: как правило, он катализирует синтезы высокомолекулярных веществ из более простых, способствует синтезу сахарозы, крахмала, жиров, белков. При недостатке калия процессы синтеза нарушаются, и в растении скапливаются глюкоза, аминокислоты и продукты распада

других высокомолекулярных соединений. При недостатке калия на нижних листьях появляется краевой заплеск — края листовых пластинки отмирают, листья приобретают характерную куполообразную форму, на листьях появляются коричневые пятна. Образование коричневых пятен (некрозов) связано с нарушением азотного обмена и образованием в тканях трупного яда — путресцина.

**Кальций.** Кальций поступает в растение в течение всей его жизни. Часть кальция находится в клеточном соке. Этот кальций не принимает активного участия в процессах обмена веществ, он главным образом обеспечивает нейтрализацию избыточно образующихся органических кислот. Часть кальция сосредоточена в плазме — здесь кальций играет роль антагониста калия, он оказывает на коллоиды плазмы действие, противоположное калию, а именно — понижает гидрофильность плазменных коллоидов, повышает их вязкость. Для нормального хода жизненных процессов очень важно оптимальное соотношение калия и кальция в плазме, так как именно это соотношение обуславливает определенные коллоидные свойства плазмы. Кальций входит в состав ядерного вещества, а потому играет большую роль в процессах деления клетки. Велика роль кальция и в образовании клеточных оболочек, особенно в формировании стенок корневых волосков, куда он входит в виде пектата. При отсутствии кальция в питательном растворе очень быстро поражаются точки роста надземных частей и корня, так как кальций не передвигается из старых частей растения к молодым. Корни ослизняются, рост их почти прекращается или идет ненормально. В искусственной культуре на водопроводной воде обычно симптомы недостатка кальция не проявляются.

**Магний.** Магний поступает в растения в меньших количествах, чем калий и кальций. Тем не менее роль его в растении исключительна, так как магний входит в состав хлорофилла ( $\frac{1}{10}$  часть магния клетки входит в состав хлорофилла). Магний необходим также всем бесхлорофильным организмам, и его роль не исчерпывается значением для процесса фотосинтеза. Магний является чрезвычайно важным и для дыхательного обмена, он катализирует целый ряд реакций образования богатых энергией фосфатных связей и их переноса. Так как богатые энергией фосфатные связи участвуют в самых различных синтезах, то без магния эти процессы не идут. При недостатке магния разрушается молекула хлорофилла, причем жилки листьев остаются зелеными, а участки тканей, расположенные между жилками, бледнеют. Это явление называется пятнистым хлорозом и очень характерно для недостатка магния.

**Железо.** Железо поглощается из раствора как в виде растворенных солей, так и в виде комплексных и органических соединений. Содержание его в растениях невелико, обычно оно составляет сотые доли процента. В растительных тканях железо

частично переходит в органические соединения. Ион железа способен легко переходить из окисной формы в закисную, и обратно. В силу этого, находясь в составе ферментов, он принимает активное участие в окислительно-восстановительных процессах. Железо, в частности, входит в состав дыхательных ферментов (цитохрома, цитохромоксидазы, каталазы и пероксидазы).

В состав молекулы хлорофилла железо не входит, но принимает деятельное участие в его образовании. При недостатке железа развивается хлороз — хлорофилл не образуется, листья принимают характерную желтую окраску. Поскольку подвижность железа в растительных тканях очень мала, железо, находящееся в старых листьях, не может быть использовано молодыми листьями. Этим объясняется, почему хлороз всегда начинается с молодых листьев.

При недостатке железа изменяется не только окраска молодых листьев, но и фотосинтез; рост растений замедляется. Необходимо поэтому при появлении первых признаков хлороза принимать меры к его устранению. Если прибавить железо в питательный раствор не позднее чем через пять дней после начала заболевания, то окраска листьев восстанавливается. Более поздние меры не приносят желаемого эффекта.

#### Микроэлементы

Кроме основных элементов, для роста растений необходим целый ряд так называемых микроэлементов. Они находятся в растении в ничтожных количествах, составляя тысячные доли процента его сырого веса. Микроэлементы усваиваются только при низких концентрациях соответствующих солей. При увеличении дозы они становятся уже ядовитыми для растения. С этим обстоятельством приходится особенно считаться при выращивании растений без почвы. Микроэлементы не играют роли в осмотических свойствах клеточного сока, не могут участвовать в структурообразовании протоплазмы. Их количество слишком ничтожно для выполнения подобных функций. Роль их в жизни растений, подобно витаминам, связана с деятельностью ферментов.

Бор. Из микроэлементов особо важен бор. Для того, чтобы растение нормально развивалось, его необходимо постоянно снабжать бором, так как он слабо передвигается по растению. При отсутствии бора приостанавливается рост корней и наземной части. Точки роста отмирают, так как клетки молодой растущей ткани — меристемы перестают делиться. Внешние признаки недостатка бора схожи с недостатком кальция, так как метаболизм этого элемента тесно связан с бором. Бор принимает участие в процессе прорастания явльцы и росте завязи, поэтому при недостатке его резко снижается семенная продукция растений.

Бор играет большую роль в передвижении сахаров; ряд борорганических соединений является активаторами роста.

**Медь.** Значительная доля меди сосредоточена в хлоропластах. По-видимому, медь катализирует какие-то реакции в фотосинтезе. При недостатке меди хлоропласты оказываются недолговечными, медь, видимо, препятствует разрушению хлорофилла. Медь входит в состав ряда окислительных ферментов (полифенолксидаза, тирозиназа и др.). Медь играет большую роль и в белковом обмене.

**Цинк.** Цинк входит в состав важного фермента — карбоангидразы. Кроме того, цинк участвует в синтезе аминокислоты триптофана, являющегося предшественником ростовых веществ (ауксинов) в растении.

**Марганец.** Он очень важен для растения, так как катализирует реакции карбоксилирования и играет важную роль в фотосинтезе и дыхании. Органические и неорганические соединения марганца встречаются во всех частях растения. Преимущественно он скапливается в листьях и в точках роста — в молодой растущей ткани, где наблюдается наибольшая физиологическая активность. Хотя марганец не входит в молекулу окислительных ферментов, его наличие способствует окислительным превращениям.

Присутствие марганца в питательном растворе повышает дыхание корней, при этом заметно увеличивается усвоение нитратного азота. Особенно характерным свойством марганца является его способность окислять соединения железа. При недостатке марганца железо накапливается в закисной форме и, являясь ядовитым, отравляет растительную ткань. Наоборот, при большом количестве марганца все железо превращается в окисную форму. Из этого следует, что железо и марганец должны находиться в питательном растворе в определенном соотношении, а именно: железа дается в четыре раза больше, чем марганца. Такое соотношение является наиболее выгодным для растения.

**Молибден.** Молибден необходим растениям в чрезвычайно малых количествах. Он катализирует процессы восстановления нитратов и синтеза белковых веществ.

#### СООТНОШЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ПИТАТЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ

Соотношения отдельных элементов, необходимые для наилучшего роста растений, можно вывести из химического анализа урожая различных растений. Химический состав различных овощных растений можно представить в виде количества питательных элементов, которое выносятся данной культурой с 1 га посева при определенной величине товарного урожая. Табл. 6 дает хорошее представление как о количестве солей, потребляемых растениями при своем росте, так и о соотношении между потре-

нием отдельных питательных элементов (за единицу принят азот). Приблизительно в этих же соотношениях должны находиться элементы и в питательном растворе. При этом видно, что потребность в питательных элементах у различных овощных культур довольно близка. Калия и азота в растворе должно содержаться примерно одинаковое количество, фосфора потребляется в 6 раз меньше. Потребность в кальции варьирует больше всего. Для капусты кальция нужно больше, чем азота, а для редиса в 7 раз меньше.

Таблица 6

Вынос питательных веществ овощными культурами \*

Культура	Товарный урожай (в т/га)	Вынос питательных веществ (в кг/га)				N:P:K:Ca
		N	P	K	Ca	
Капуста кочанная . . .	70	250	39,6	249	248	1:0,15:1 :1
Капуста кочанная . . .	70	230	38,7	253	298	1:0,16:1,1 :1,3
Капуста цветная . . .	50	200	35,2	207	42,6	1:0,17:1,03:0,21
Киртофель . . . . .	30,6	125	14,0	133,6	—	1:0,16:1,07 —
Картофель . . . . .	15	84	18,0	153	74	1:0,21:1,9 :0,9
Огурцы . . . . .	—	51	18,0	64,7	19	1:0,35:1,27:0,35
Огурцы . . . . .	20,9	109	15,9	85,5	—	1:0,15:0,9 —
Огурцы (в теплице)	20	37	8,8	78,8	26,2	1:0,24:2,1 :0,7
Редис . . . . .	10	150	7,9	42,3	19,8	1:0,06:0,28:0,13
Свекла . . . . .	20	80	15,4	103,7	21,3	1:0,2 :1,3 :0,3
Томаты . . . . .	40	110	11,0	124,5	92,3	1:0,1 :1,13:0,84
Томаты . . . . .	40	103	7,0	119,5	94,4	1:0,07:1,16:0,91
Рассада . . . . .	—	—	—	—	—	1:0,13:1,08:0,54

\* Таблица составлена на основании данных, помещенных в Справочнике агронома-овощевода, 1941, стр. 40 и 41.

В табл. 6 для некоторых культур приведены сравнительные данные, полученные при выращивании растений в различных условиях. Они значительно отличаются друг от друга, и это указывает, что избирательность в поглощении питательных элементов растением относительная. Растения могут с успехом расти на питательных растворах, отличающихся по своему составу. Не велики оказались различия в поглощении питательных элементов у рассады и взрослых растений томатов. Взрослые растения томатов потребляют больше кальция и магния. Для других культур различия могут быть более существенными.

При непосредственных анализах суточного поглощения питательных веществ растениями было определено, что 1000 взрослых растений огурцов потребляет в сутки 96 г азота, 16 г фосфора, 120 г калия, 80 г кальция, 18 г магния. Поглощение от-

дельных элементов происходило приблизительно в тех же соотношениях, какие указывались в табл. 6 (1 : 0,17 : 1,26 : 0,82 : 0,19). Подобного рода данные могут служить основой для составления питательного раствора.

#### КОНЦЕНТРАЦИЯ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Почвенный раствор содержит лишь незначительное количество растворенных минеральных веществ. Обычно в литре его растворено не более 200 мг солей. При выращивании растений на искусственных субстратах можно давать раствор более высокой концентрации, из которого поглощение веществ происходит с наименьшими затратами энергии.



Рис. 4. Влияние концентрации питательного раствора на рост огурцов.

1—2 г соли в 1 л раствора; 2—4 г/л; 4—8 г/л; 6—12 г/л.

Специально проведенные опыты показали, что растения лучше всего растут и плодоносят, если в литре раствора содержится 2—3 г минеральных солей. Такой раствор легко всасывается корневыми волосками, не причиняя вреда растению (рис. 4). Повышение концентрации раствора до 6 и в особенности до 8 г/л резко ухудшает рост огурцов — приостанавливается рост корня, укорачиваются междоузлия стебля, уменьшается величина листьев. Это угнетение роста связано с повышением осмотического давления раствора, из-за него задерживается поступление в корень воды. У томатной рассады (рис. 5) концентрация раствора в 8—10 г/л не оказывает видимого вредного действия

на рост. Однако дальнейший рост, урожай плодов, а также их качество (поражаемость вершинной гнилью) резко ухудшаются при высоких концентрациях питательного раствора (табл. 7).

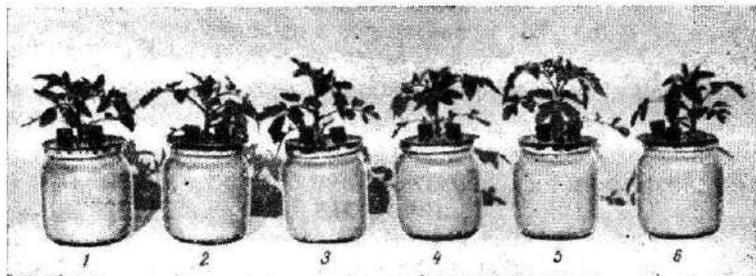


Рис. 5. Влияние концентрации питательного раствора на рост молодой рассады томатов.  
1 — 2 г в 1 л раствора; 2 — 4 г/л; 3 — 6 г/л; 4 — 8 г/л; 5 — 10 г/л; 6 — 12 г/л.

Наилучший урожай томатов был получен при концентрации солей в 1,6 г/л, причем плоды вырастают наиболее крупные и менее всего поражаются вершинной гнилью.

Таблица 7

Влияние концентрации раствора на урожай томатов в водной культуре (по Капперту, 1956)

Количество растворенных солей (в г/л)	Осмотическое давление (в атм)	Урожай плодов томатов (в кг/м <sup>2</sup> )			Процент вершинной гнили	Средний вес плодов (в г)
		I сорт	II сорт	III сорт		
1,6	0,8	45,5	39,4	35,2	0,9	72
2,5	1,2	36,9	38,5	32,1	3,7	64
3,3	1,7	35,9	38,8	34,2	7,4	62
5,0	2,5	31,1	26,8	23,3	7,5	61
6,5	3,3	18,0	9,2	5,0	7,6	58

Таким образом, и для томатов и для огурцов концентрация раствора в 1,6—2 г/л является наиболее благоприятной для роста и урожая. Более слабые растворы применять в производстве нецелесообразно, так как питательные вещества из них очень быстро потребляются. Такие растворы приходится часто сменять или на основании химического анализа исправлять их состав.

Кроме того, опыты показывают, что поглощение веществ растениями из растворов, содержащих 1 г солей на 1 л раствора,

идет значительно медленнее, чем при концентрации в 2—2,5 г/л. В производстве поэтому постоянно следят за концентрацией раствора и при ее снижении до половины — доводят до нормы.

В заключение приводится сводная табл. 8 с указанием предела концентрации отдельных питательных элементов. Табл. 8

Таблица 8

Количество минеральных элементов в применяемых питательных растворах (на 1000 л)

Количество элементов	Весовое содержание (в г)						N:P:K:Ca:Mg:S
	N	P	K	Ca	Mg	S	
Минимальное . . . . .	56	12	59	12	12	21	1:0,2:1,1:0,2:0,2:0,5
Среднее . . . . .	136	53	253	144	43	138	1:0,3:1,8:1,0:0,3:1,0
Максимальное . . . . .	217	217	592	360	84	331	1:1 :2,7:1,6:0,3:1,5

можно пользоваться как справочником при составлении нового питательного раствора и при оценке существующих.

Из табл. 8 видно, что питательный раствор обычно содержит больше всего азота и калия, причем количество калия в некоторых случаях превышает содержание азота почти в 3 раза. Фосфор растению необходим в меньших количествах, поэтому его дают в 3—4 раза меньше, чем азота. В таких же количествах рекомендуется давать магний.

#### РАЗЛИЧИЯ В СКОРОСТИ ПОГЛОЩЕНИЯ КАТИОНОВ И АНИОНОВ

При составлении питательного раствора необходимо учитывать не только концентрацию раствора и соотношение в нем питательных веществ, но также и то обстоятельство, что отдельные катионы и анионы поглощаются неравномерно, что приводит к сдвигам кислотности раствора. Это явление можно легче всего иллюстрировать на примере нитратных и аммонийных солей (см. табл. 9).

Таблица 9

Изменение первоначальной pH раствора в зависимости от источника азотного питания

(по Соколову, Ахромейко и Панфилову, 1938)

Источники азотного питания	$KNO_3$	$Ca(NO_3)_2$	$NaNO_3$	$NH_4Cl$	$(NH_4)_2SO_4$	$NH_4NO_3$
Начальная pH раствора . . .	6,38	6,37	6,37	5,45	5,48	5,31
Конечная pH раствора . . .	7,40	7,55	7,66	3,16	3,34	3,59

При питании растений аммонийными солями ион  $\text{NH}_4^+$  настолько быстро поглощается по сравнению с анионами  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , что раствор резко подкисляется. Поэтому при составлении рецептов питательных растворов пользоваться аммонийными солями как единственными источниками азота избегают. Пользоваться питательными растворами с содержанием  $\text{NH}_4$  более 40 мг/л совершенно не рекомендуется. Путем подбора соответствующей комбинации солей можно добиться стабильной кислотности раствора.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА СОЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ РАСТВОРОВ

При выборе рецептуры для производственных целей следует руководствоваться следующими соображениями: соли, входящие в питательный раствор, должны быть дешевы, иметь широкое распространение, легко растворяться и не содержать ненужных для питания растений элементов, чтобы излишне не увеличивать концентрацию раствора.

**Источники азота.** Наилучшим источником азота является азотнокислый кальций. Однако эта соль довольно дорога и у нас не получила широкого распространения, кроме того, очень гигроскопична и не пригодна для составления сухих смесей. Из азотнокислых солей наиболее распространены: натронная, калийная и аммиачная селитра. Применять натронную селитру в качестве единственного источника азота не следует, так как она содержит большие количества натрия, который не нужен для питания растений. Более подходящей является селитра калийная: уже само название говорит, что она содержит два важнейших питательных элемента — калий и азот. Однако эту соль тоже не следует давать одну, потому что она содержит в три раза больше калия, чем азота. Аммиачная селитра является самым богатым источником азота, но она содержит слишком большие количества аммонийного азота, тогда как по существующему правилу количество его не должно превышать 40 г в 1000 л раствора. Она редко применяется в больших установках, так как производственники считают, что эта соль не дает хорошего роста в водных растворах.

При составлении питательного раствора лучше всего пользоваться смесью азотнокислых солей. В небольших количествах в питательный раствор необходимо добавлять азот аммонийный, так как он до некоторой степени поддерживает pH среды. С этой целью в раствор добавляют сернокислый или азотнокислый аммоний.

В последнее время в ряде рецептов питательных растворов используют мочевины. Мочевина содержит большой процент азота. Мочевина является основным источником азота в растворе,

применяемом в теплицах Московского нефтеперерабатывающего завода (см. приложение).

**Источники калия.** Как источник калия, кроме калийной селитры, лучше всего применять сернокислый калий. В небольших количествах можно добавлять хлористый калий, но как единственный источник калия он не пригоден. Ион хлора, не принимая участия в питании растений, будет накапливаться в растворе и в растениях; в больших концентрациях он действует на растение неблагоприятно.

**Источники фосфора.** Излюбленным источником фосфора и калия в лабораторной практике является однозамещенный фосфорнокислый калий, однако для производства эта соль слишком дорога, поэтому обычно для удовлетворения потребности в фосфоре применяют суперфосфат, который содержит фосфор и кальций. Используя суперфосфат, следует проверить, не содержит ли он вредных для растения веществ, мышьяка или фтора. Такой суперфосфат для приготовления питательных растворов не пригоден.

**Источники магния.** Чаще всего источником магния в искусственных культурах является сернокислый магний. Эта соль бывает в безводном состоянии или содержит кристаллизационную воду. Хорошим источником магния может являться удобрительный препарат калимаг (калимагnezия), который содержит сернокислый калий и сернокислый магний.

**Источники кальция.** Для удовлетворения растений кальцием в лабораторной практике, помимо азотнокислого кальция и суперфосфата, дают иногда сернокислый кальций.

На производстве этого делать обычно не приходится. Природные воды содержат довольно много кальция, и при подкислении серной кислотой питательного раствора эта соль выпадает в осадок.

**Источники железа.** На этом следует остановиться несколько подробнее. При приготовлении питательного раствора применяют как неорганические, так и органические соли железа. В производственных условиях предпочитают употреблять неорганические соли, так как они значительно дешевле. Чаще всего применяют сернокислое железо (закисное), а не хлорное, так как последнее слишком гигроскопично. Неорганические соли железа, однако, неудобны в том отношении, что они при подщелачивании раствора легко выпадают в осадок в виде углекислых и фосфорнокислых солей и становятся недоступными для корней. Перевести их снова в растворимое состояние очень трудно. Чтобы избежать этих нежелательных явлений, лучше применять лимоннокислое железо. Оно лучше сохраняется в растворенном состоянии и даже при  $pH=6,8$  в течение недели не выпадает в осадок. Нельзя пользоваться уксуснокислыми и шавелевокислыми солями железа из-за их токсичности. Наряду с добавлением солей железа в питательный раствор в гравий или решето, в ко-

тором укореняются растения, кладут железные опилки или комочки фосфорнокислого железа. Эта мера является очень действенной. Объясняется она тем, что трудно растворимые соли железа — фосфорнокислые, углекислые и т. д. не усваиваются из питательного раствора. Если же они добавлены в хорошо аэрируемый субстрат, например в почву, торф, или нанесены на поверхность гравия, то здесь они усваиваются совершенно свободно. Это свойство растений следует учесть и использовать на практике. Как источник железа хорошие результаты дает железная соль гуминовой кислоты. При выращивании цветов в питательный раствор вместо железа можно добавлять торф, который богат гуминовыми кислотами, в количестве одного спичечного коробка на 10 л питательного раствора: растения в этом случае имеют темно-зеленую окраску в течение всего вегетационного периода.

В настоящее время стали применять хелаты железа, которые хорошо поглощаются растением и не выпадают в осадок.

Хелаты — это комплексные соединения органических анионов (хелатообразователей) и ряда металлов. Наиболее часто в практике в качестве комплексообразователя применяется трилон Б (двунариевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты).

Для приготовления хелата железа 25 г  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  растворяют в воде, добавляют в раствор 30,0 г трилона Б и KOH (5% раствор) до pH=5,5 и доводят водой до 1 л. Раствор аэрируют в течение суток. При добавлении 1 мл этого раствора к 1 л питательного раствора содержание железа составляет 5 мг/л, что вполне достаточно для нормального снабжения растений железом. Хелат железа не выпадает в осадок и хорошо поглощается растением.

Источники микроэлементов. Для приготовления растворов микроэлементов наиболее употребительными солями являются борная кислота, сернокислый марганец, который можно заменить марганцовокислым калием, сернокислый цинк и сернокислая медь.

#### КАЧЕСТВО ВОДЫ

При составлении питательного раствора следует учитывать, что сама вода содержит растворенные минеральные вещества, количество и состав которых различны в зависимости от происхождения воды. Поэтому перед закладкой опытов по выращиванию растений без почвы необходимо проверить воду, с которой придется работать. Обычно вода рек и скважин совсем не содержит минерального азота и фосфора. Вода некоторых рек (Печора и Невы) имеет очень мало минеральных веществ, всего 40—48 мг/л. Приготавливая питательный раствор на такой воде, этими величинами можно пренебречь. Реки Волжского бассейна (Волга, Кама, Ока, Белая) содержат довольно большие количества кальция и магния, поэтому при приготовлении питатель-

ного раствора на такой воде количество этих веществ следует соответствующим образом уменьшить. Большим содержанием кальция характеризуются реки Сыр-Дарья и Аму-Дарья. Особенно богата минеральными веществами вода, полученная из скважин в меловых, каменноугольных и нижнекембрийских отложениях. В них много магния и кальция, кроме того, в них находится хлористый натрий. Следует помнить, что излишек магния затрудняет поглощение калия, что вода, богатая карбонатами, подщелачивает раствор, создавая для корней неблагоприятную среду, и что количества хлористого натрия в 1—2 г/л еще переносятся растениями, большие количества уже причиняют им вред. Из практики выращивания растений без почвы в пустынях Африки можно заключить, что в некоторых случаях использование местной воды является наиболее трудной проблемой. Обычно в пустыне имеется лишь соленая вода. Большой процент приходится на долю солей магния, кальция и серы; содержание хлора в ней также велико и достигает 300 г в 100 л. Однако сейчас найдена возможность использовать даже такую воду, подгоняя ее под нужную рецептуру питательного раствора. Пропуская засоленную воду через колонки с ионообменниками, можно добиться хорошей очистки воды.

#### СПОСОБЫ РАСЧЕТОВ ПРИ СОСТАВЛЕНИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

В производстве по ходу работы, возможно, придется изменять питательный раствор или создавать по тем или другим соображениям новую рецептуру. Для облегчения этой задачи приводится табл. 10, пользуясь которой, легко произвести соответствующие расчеты. В табл. 10, помимо молекулярного веса общепотребительных солей, приводятся сведения о том, сколько граммов соли следует взять для получения 1 г питательного элемента. Таблица составлена для действующего начала химически чистых солей, при работе с техническими солями следует вносить поправки согласно паспорту продукции или на основании собственных анализов.

Табл. 10 дает возможность без особого затруднения исправить до нормы истощенный раствор, позволяет произвести замену в рецептуре, если в распоряжении хозяйства не имеется соли, обозначенной в рецепте, или коренным образом изменить состав питательного раствора. На всех этих вопросах следует остановиться несколько подробнее.

Предположим, что нам нужно составить такой раствор, который бы содержал средние количества питательных элементов (см. табл. 8). В 1000 л раствора должно содержаться 136 г азота, 53 г фосфора, 253 г калия, 144 г кальция, 43 г магния и 138 г серы. Из предыдущего известно, что в современную рецептуру должен обязательно входить наряду с нитратным азотом аммиач-

Таблица 10

## Содержание действующего начала в питательных солях

Наименование солей	Молекулярный вес	Действующее начало	Навеска (в г) для получения 1 г действующего начала
Аммоний азотнокислый $\text{NH}_4\text{NO}_3$ . . . . .	80	$\text{N}_{\text{NH}_4}$	2,8
		$\text{N}_{\text{NO}_3}$	2,8
Аммоний сернокислый $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . . . . .	132	$\text{N}_{\text{NH}_4}$	4,7
Аммоний фосфорнокислый однозамещенный $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ . . . . .	115	$\text{N}_{\text{NH}_4}$	8,2
		P	3,7
Борная кислота $\text{B}(\text{OH})_3$ . . . . .	62	B	5,5
Железо сернокислое $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	278	Fe	4,9
Железо хлорное $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	270	Fe	4,8
Калий азотнокислый $\text{KNO}_3$ . . . . .	101	K	2,6
		$\text{N}_{\text{NO}_3}$	7,2
Калий марганцовокислый $\text{KMnO}_4$ . . . . .	158	Mn	2,87
Калий сернокислый $\text{K}_2\text{SO}_4$ . . . . .	174	K	2,2
Калий фосфорнокислый однозамещенный $\text{KH}_2\text{PO}_4$ . . . . .	136	P	4,4
		K	3,5
Калий хлористый KCl . . . . .	75	K	1,9
Кальций азотнокислый $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	236	Ca	5,9
		$\text{N}_{\text{NO}_3}$	8,4
Кальций сернокислый $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	172	Ca	4,3
Кальций хлористый $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	219	Ca	5,5
Магний сернокислый $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	246	Mg	10,2
Магний сернокислый безводный $\text{MgSO}_4$ . . . . .	120	Mg	5,0
Марганец сернокислый $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	277	Mn	5,04
Медь сернокислая $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	250	Cu	3,93
Натрий азотнокислый $\text{NaNO}_3$ . . . . .	85	$\text{N}_{\text{NO}_3}$	6,0
Суперфосфат 6,85—8,17% по P . . . . .	—	P	16—12,2
Суперфосфат двойной 19,6—21,8% по P . . . . .	—	P	5,1—4,6
Цинк сернокислый $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . . . . .	288	Zn	4,4

ный в количестве, не превышающем 40 г, так как при наличии аммиачных солей раствор не будет сильно подщелачиваться. Согласно табл. 10 на 1 г азота нужно взять 4,7 г аммония сернокислого, а на 40 г около 190 г этой соли ( $4,7 \times 40 = 188,8$ ). Оставшееся количество азота, равное 96 г, можно получить из калийной селитры. Следовательно, для полного удовлетворения азотом, согласно табл. 10, в раствор надо добавить 691 г калийной селитры ( $7,2 \times 96 = 691$ ). Вместе с этим количеством раствор получает 266 г калия ( $691 : 2,6 = 266$ ); это количество на 13 г превышает наше задание, но с такой величиной можно смириться, так как она значительно ниже допускаемой максимальной величины. Для удовлетворения магнием следует отвесить 436 г магния сернокислого (с кристаллизационной водой) ( $10,2 \times 43 = 436$ ). Для обеспечения растений фосфором следует взять суперфосфат, который является самым дешевым источником фосфора. В 646 г суперфосфата содержатся необходимые, согласно

нашему заданию, 53 г фосфора ( $12,2 \times 53 = 646$ ). Вместе с суперфосфатом мы вносим в раствор и кальций в достаточном количестве (1938 г на 1000 л). Таким образом мы составили раствор из четырех солей. Рецептуру можно представить следующим образом:

Количество солей (в г) на 1000 л	
Аммоний сернокислый . . . . .	190
Калий азотнокислый . . . . .	690
Магний сернокислый . . . . .	436
Суперфосфат (обычный) . . . . .	646

Остается добавить лишь раствор солей железа и микроэлементов, приготовленный обычным способом (см. приложение).

В настоящее время имеется много рецептов питательных растворов, составленных для разных растений при выращивании их на различных субстратах и для различного характера вод. Предлагаются составы специально для зимнего и летнего выращивания (см. приложение к гл. III). По своему характеру они мало чем отличаются друг от друга, так как составлены на основании общих принципов приготовления растворов. В одном литре раствора обычно содержится 2—3 г солей. Количество аммонийного азота не превышает 40 мг/л. В зимнее время аммонийные соли даются в меньших количествах, так как при недостатке света растение образует мало сахаров. В зимнее время, а также в пасмурную погоду раствор должен содержать больше калия, чем азота. Летом количество калия следует снижать и увеличивать концентрацию азота.

На основании своего опыта мы считаем, что можно с успехом пользоваться одним и тем же рецептом при выращивании различных растений в разное время года. Там, где тщательно следят за изменением состава питательного раствора и постоянно подгоняют его к норме, растения не испытывают недостатка ни в одном питательном веществе.

### Рецепты питательных растворов

Помещая тот или иной рецепт, мы даем ему общую характеристику. В двух первых строках указывается, сколько граммов основных питательных элементов содержится в 1000 л раствора и в каких соотношениях эти элементы находятся с азотом, принимая количество его за единицу. Для полноты характеристики, кроме общего содержания, дается количество аммонийного и нитратного азота. Далее указывается, какое количество питательных солей (в г) необходимо дать для составления 1000 л раствора данного рецепта. В конце помещена характеристика отдельных рецептов, предназначенных специально для выращивания различных овощных культур и цветов, по этой характеристике можно легко составить питательный раствор для любой культуры из имеющихся в наличии солей.

#### Раствор Кюпа §

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO</sub>	N <sub>NN</sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	154	56	167	170	24	154	0
Соотношение . . . . .	1	: 0,3	: 1	: 1	: 0,1		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Калий азотнокислый . . . . .	250
Калий фосфорнокислый (однозамещенный) . . . . .	250
Кальций азотнокислый . . . . .	1000
Магний сернокислый . . . . .	250
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1750</b>

**Раствор Хоглэнда и Арнона**

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>4</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	210	31	234	260	24	210	0
Соотношение . . . . .	1	: 0,1	: 1,1	: 1	: 0,1		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Калий азотнокислый . . . . .	505
Калий фосфорнокислый (однозамещенный) . . . . .	136
Кальций азотнокислый (безводный) . . . . .	820
Магний сернокислый . . . . .	240
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1701</b>

**Раствор Жерике**

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>4</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	196	31	429	80	24	196	0
Соотношение . . . . .	1	: 1,0	: 2,2	: 0,4	: 0,1		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Калий азотнокислый . . . . .	1010
Калий фосфорнокислый (однозамещенный) . . . . .	136
Кальций азотнокислый . . . . .	475
Магний сернокислый (безводный) . . . . .	120
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1741</b>

**Приготовление сухой смеси солей по Жерике (в кг)**

Суперфосфат (тройной) . . . . .	13,5	Железо сернокислое (закис- ное) . . . . .	1,4
Магний сернокислый . . . . .	13,5	Марганец сернокислый . . . . .	0,2
Серная кислота . . . . .	7,3	Борная кислота . . . . .	0,17
Калий азотнокислый . . . . .	54,2	Цинк сернокислый . . . . .	0,08
Кальций азотнокислый . . . . .	9,5	Медь сернокислая . . . . .	0,06

Сначала хорошо перемешивают суперфосфат и магний сернокислый с серной кислотой, затем добавляется остальная смесь. Смесь хорошо перемешивается. При приготовлении питательного раствора на 1000 л воды добавляется 1 кг сухой смеси. Эта рецептура дала исключительные результаты.

**Раствор Биологического института Ленинградского университета (Чесноков и Базырина)**

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>4</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	140	38,5	190	165	30	105	35
Соотношение . . . . .	1	: 0,3	: 1,3	: 1,2	: 0,2		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний азотнокислый . . . . .	200
Калий азотнокислый . . . . .	500
Суперфосфат (простой) . . . . .	550
Магний сернокислый . . . . .	300
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1550</b>

**Раствор, применяемый в теплицах Московского  
нефтеперерабатывающего завода  
(Мураш и Горшукова)**

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NH<sub>3</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	140	34	244	135	10	140
Соотношение . . . . .	1	: 0,24	: 1,75	: 1	: 0,07	

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Мочевина . . . . .	300
Магний сернокислый . . . . .	100
Калийная соль (40%) . . . . .	750
Суперфосфат (простой) . . . . .	450
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1600</b>

**Раствор, применяемый в Калифорнийском университете**

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>3</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	224	31	234	160	48	210	14
Соотношение . . . . .	1	: 0,15	: 1	: 0,8	: 0,2		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний фосфорнокислый (однозамещенный) . . . . .	115
Калий азотнокислый . . . . .	610
Кальций азотнокислый (безводный) . . . . .	710
Магний сернокислый . . . . .	490
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1925</b>

**I. Раствор университета в Пардю  
(Удобрительные препараты из циркуляра 232)**

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>3</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	151	55	356	207	11	126	25
Соотношение . . . . .	1	: 0,3	: 2,3	: 1,3	: 0,1		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний сернокислый (20—0—0) <sup>1</sup> . . . . .	125
Калий нитрат (13—0—44) . . . . .	975
Кальций сернокислый (безводный) . . . . .	662
Магний сернокислый (безводный) . . . . .	55
Суперфосфат тройной . . . . .	137
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1954</b>

<sup>1</sup> Цифры в скобках указывают соответственно процент азота, фосфора и калия в применяемых технических препаратах.

**II. Раствор университета в Пардю**  
(пригоден для весны и лета)

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>4</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	225	55	214	112	11	200	25
Соотношение . . . . .	1	: 0,2	: 1	: 0,5	: 0,05		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний нитрат (35-0-0) . . . . .	143
Калий нитрат (13-0-44) . . . . .	586
Кальций нитрат (15,5-0-0) . . . . .	637
Магний сернокислый безводный . . . . .	55
Суперфосфат тройной (0-48-0) . . . . .	187

Всего . . . . . 1558

**III. Раствор университета в Пардю**

(Раствор пригоден для зимы. Наличие аммония не позволяет подщелачиваться раствору)

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>4</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	187	220	213	124	45	175	21
Соотношение . . . . .	1	: 1,1	: 1,1	: 0,6	: 0,2		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний сернокислый (20-0-0) . . . . .	62
Калий азотнокислый (13-0-44) . . . . .	586
Кальций нитрат (15,5-0-0) . . . . .	637
Магний сернокислый . . . . .	462
Суперфосфат тройной (0-44-0) . . . . .	550

Всего . . . . . 2297

**Раствор университета в Пардю из удобрительных препаратов**  
(Растворы А, В и С для воды, которая не содержит кальция)

**Раствор А**

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NO<sub>2</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	84	55	336	48	40	60	24
Соотношение . . . . .	1	: 0,6	: 4	: 0,5	: 0,5		

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний сернокислый (20-0-0) . . . . .	120
Калий азотнокислый (13-0-44) . . . . .	462
Калий сернокислый (0-0-48) . . . . .	420
Кальций сернокислый . . . . .	637
Магний сернокислый . . . . .	437
Суперфосфат (тройной) (0-48-0) . . . . .	262

Всего . . . . . 2338

Элементы . . . . .	Раствор В						
	N	P	K	Ca	Mg	$N_{NO_3}$	$N_{NH_4}$
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	144	55	335	48	40	120	24
Соотношение . . . . .	1 : 0,4 : 2,3 : 0,3 : 0,3						

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний сернокислый (20-0-0) . . . . .	120
Калий азотнокислый (13-0-44) . . . . .	920
Кальций сернокислый . . . . .	637
Магний сернокислый . . . . .	437
Сурперфосфат (тройной) (0-48-0) . . . . .	262
<b>Всего . . . . .</b>	<b>2376</b>

Элементы . . . . .	Раствор С						
	N	P	K	Ca	Mg	$N_{NO_3}$	$N_{NH_4}$
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	146	92	335	80	40	120	26
Соотношение . . . . .	1 : 0,6 : 2,3 : 0,5 : 0,2						

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний фосфата (аммофос) (11-48-0) . . . . .	237
Калий азотнокислый (13-0-44) . . . . .	920
Кальций азотнокислый . . . . .	450
Магний сернокислый . . . . .	437
<b>Всего . . . . .</b>	<b>2044</b>

**Раствор агрономической станции в Нью-Джерси**

Элементы . . . . .	Раствор						
	N	P	K	Ca	Mg	$N_{NO_3}$	$N_{NH_4}$
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	122	60	75	151	46	106	16
Соотношение . . . . .	1 : 0,5 : 0,6 : 0,2 : 0,4						

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний сернокислый . . . . .	80
Калий фосфорнокислый (одноосновный) . . . . .	262
Кальций азотнокислый . . . . .	892
Магний сернокислый . . . . .	475
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1709</b>

**Раствор экспериментальной станции Огайо**

Элементы . . . . .	Раствор						
	N	P	K	Ca	Mg	$N_{NO_3}$	$N_{NH_4}$
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	91	62	223	167	44	70	21
Соотношение . . . . .	1 : 0,7 : 2,4 : 1,8 : 0,5						

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Аммоний сернокислый . . . . .	100
Калий азотнокислый . . . . .	580
Кальций сернокислый . . . . .	500
Кальций монофосфат . . . . .	250
Магний сернокислый . . . . .	450
<b>Всего . . . . .</b>	<b>1880</b>

**Раствор Общества стандартной нефти в Лаго**

Элементы . . . . .	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>4</sub></sub>
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	100	100	300	480	75	100	0
Соотношение . . . . .	1 : 1 : 3 : 4,8 : 0,7						

**Количество солей (в г) на 1000 л воды**

Калий азотнокислый . . . . .	770
Кальций сернокислый . . . . .	1425
Кальций фосфорнокислый (однозамещенный) . . . . .	405
Магний сернокислый . . . . .	780
<b>Всего . . . . .</b>	<b>3380</b>

**Сухая смесь для подкормки (в г)**

(применяется при выращивании растений на смеси песка с вермикулитом или гравия с вермикулитом, вносится еженедельно по 17 г/м<sup>2</sup>)

Аммоний сернокислый . . . . .	440	Суперфосфат . . . . .	160
Калий хлористый . . . . .	140	Железо сернокислое . . . . .	75
Натрий углекислый . . . . .	120	Борная кислота . . . . .	1,2
Магний сернокислый . . . . .	140	Марганец сернокислый . . . . .	1,2

**Рецепт приготовления раствора микроэлементов**  
количество микроэлементов (в г) на 1000 л раствора

Элементы . . . . .	Fe	B	Mn	Zn	Cu
Количество элементов (в г) на 1000 л воды . . . . .	4	0,5	0,5	0,05	0,05

**Количество соли (в г) на 1000 л раствора**

Железо сернокислое . . . . .	22	Цинк сернокислый . . . . .	0,2
Борная кислота . . . . .	2,9	Медь сернокислая . . . . .	0,2
Марганец сернокислый . . . . .	1,9	Серная кислота . . . . .	0,9
<b>Всего . . . . .</b>	<b>28,1</b>		

Обычно готовится концентрированный раствор смеси микроэлементов по следующему рецепту (в г/л):

Железо сернокислое (закисное, 7H <sub>2</sub> O) . . . . .	220
Борная кислота . . . . .	29
Марганец сернокислый (5H <sub>2</sub> O) . . . . .	19
Цинк сернокислый (7H <sub>2</sub> O) . . . . .	2
Медь сернокислая (5H <sub>2</sub> O) . . . . .	2
Серная кислота . . . . .	9

При приготовлении 1000 л питательного раствора добавляют 100 мл концентрированного раствора.

**Примечание.** Вместо сульфата железа удобнее пользоваться лимоннокислым аммиачным железом, которое готовится по следующему рецепту (в г/л): железа лимоннокислого аммонийного — 87 г; серной кислоты концентрированной — 9 г.

К 1000 л питательного раствора добавляют по 100 мл этого раствора.

Характеристика рецептов, рекомендуемых для выращивания различных овощных культур и цветов

Культура	Количество элементов (в г) на 1000 л воды							N : P : K : Ca : Mg
	N	P	K	Ca	Mg	N <sub>NO<sub>3</sub></sub>	N <sub>NH<sub>4</sub></sub>	
Бобы и горох . . . . .	80	110	400	225	50	60	0	1 : 0,8 : 5 : 2,8 : 0,5
Капуста цветная, брюссельская, кочанная . . . . .	200	70	200	200	50	152	48	1 : 0,4 : 1 : 1 : 0,2
Картофель . . . . .	100	95	320	228	50	100	0	1 : 0,9 : 3,2 : 2,3 : 0,5
Огурцы . . . . .	160	80	330	250	50	120	40	1 : 0,5 : 2 : 1,6 : 0,3
Редис . . . . .	220	80	220	160	50	160	60	1 : 0,4 : 1 : 0,7 : 0,7
Салат . . . . .	200	80	200	200	50	155	45	1 : 0,4 : 1 : 1 : 0,2
Сельдерей . . . . .	100	80	250	220	70	100	0	1 : 0,8 : 2,5 : 2,2 : 0,7
Томаты . . . . .	180	80	280	360	60	140	40	1 : 0,1 : 1,5 : 2 : 0,3
Тюхты . . . . .	300	120	150	420	50	300	0	1 : 0,4 : 0,5 : 1,4 : 0,1
Тыква . . . . .	160	70	300	250	50	160	0	1 : 0,4 : 1,9 : 1,6 : 0,3
Гвоздика . . . . .	250	140	175	300	50	210	40	1 : 0,6 : 0,7 : 1,2 : 0,2
Гладиолусы . . . . .	130	65	300	200	50	130	0	1 : 0,5 : 2,3 : 1,6 : 0,4
Душистый горошек . . . . .	250	120	150	350	70	250	0	1 : 0,5 : 0,6 : 1,4 : 0,3
Левкой . . . . .	100	65	280	300	50	70	30	1 : 0,6 : 2,8 : 3 : 0,5
Львиный зев . . . . .	200	120	110	280	50	200	0	1 : 0,6 : 0,7 : 1,4 : 0,2
Розы . . . . .	200	65	420	240	60	150	50	1 : 0,3 : 2,1 : 1,2 : 0,3
Хризантемы . . . . .	250	120	400	280	70	200	50	1 : 0,5 : 1,6 : 1,1 : 0,3
Шпинат . . . . .	300	70	150	300	50	240	60	1 : 0,2 : 0,5 : 3 : 0,1
Земляника . . . . .	150	70	350	260	50	150	0	1 : 0,5 : 2,3 : 1,7 : 0,3

#### ГЛАВА IV

### ВОДНАЯ КУЛЬТУРА РАСТЕНИЙ

Как уже говорилось, выращивание растений на водных питательных растворах является наиболее заманчивым, оно позволяет использовать все преимущества новой агротехники. Однако в смысле технического осуществления этот метод является наиболее трудным. Его нельзя считать окончательно разработанным и по настоящее время.

Трудность осуществления выращивания растений в водном растворе состоит в том, что корень растения надо одновременно снабжать и раствором питательных солей и кислородом воздуха, без которого невозможен как рост корневой системы, так и поглощение корнем питательных веществ.

Растворимость кислорода в воде очень ничтожна. В 1 л раствора его может содержаться при 15° не более 10,3 мг, при 20° — 9,4 мг, при 25° — 8,6 мг и при 30° не более 8 мг. Потребление его на дыхание, наоборот, довольно значительно. Одно растение кукурузы в месячном возрасте на дыхание своей корневой системы потребляет около 15 мг кислорода в час. Если выращивать кукурузу в 3 л раствора, то весь растворенный в нем кислород будет поглощен за 2 часа, и в дальнейшем дыхание корня будет поддерживаться только за счет поступления в питательный раствор новых порций его, что происходит крайне медленно. При поверхности в 100 см<sup>2</sup> за каждый час в раствор будет поступать примерно всего 0,5 мг кислорода. Корень будет находиться, таким образом, в состоянии удушья — кислородного голодания, которое сначала затормозит рост растения, а, в конце концов, может привести к отмиранию корневой системы. Вот почему в классических водных культурах хорошо растут только молодые растения, а затем по мере роста они требуют продувания раствора воздухом, частой смены его и, несмотря на это, все равно хиреют и страдают от хлороза. Надо сказать, что атмосферный кислород может передвигаться по межклетникам корня

и несколько улучшить условия жизнедеятельности корня, погруженного в раствор, но для большинства растений этого совершенно недостаточно. Питаться кислородом воздуха могут только корни специальных экологических групп растений, у которых в корнях и стебле имеются широкие воздушные полости.

Улучшить снабжение корня кислородом можно только в том случае, если значительная часть его (до  $\frac{2}{3}$ ) поднята над раствором и дышит за счет атмосферного воздуха. Однако эта радикальная мера, которая только одна может улучшить рост растений в водном питательном растворе, сопряжена с той трудностью, что надводная часть корня и корневая шейка должны тщательно охраняться от резкой смены температуры и от подсыхания, т. е. должны находиться в воздухе, насыщенном водяными парами. В сухом воздухе нарастание новой корневой системы прекращается, и растение будет обречено на гибель.

С недостаточной скоростью снабжения корня кислородом через водный питательный раствор экспериментаторы сталкивались в своей работе не раз при попытках выращивания некоторых растений, особенно корнеплодов и клубнеплодов. Запасныеместилища при погружении корня в воду не развивались, и корневую шейку приходилось поднимать над раствором.

#### **ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ НА РЕШЕТАХ, НАПОЛНЕННЫХ РЫХЛЫМ МАТЕРИАЛОМ**

Жернке в своей первой установке, созданной для промышленного выращивания растений в водной культуре, удачно решил труднейшую задачу одновременного снабжения корня растения питательным раствором и кислородом воздуха тем, что бак, на дне которого находился питательный раствор, накрыл рамой с дном, сделанным из сетки, — решетом (рис. 6). Это решето, высота которого составляла 5—10 см, наполнялось каким-нибудь рыхлым материалом: мхом, стружками, опилками, волокнистым торфом, и в него высевались семена растений или высаживалась готовая рассада. В начале выращивания растений решето с рыхлым материалом увлажнялось водой или питательным раствором, а затем, когда корни пронизывали его толщу и достигали питательного раствора в баке, полив решета прекращался, и растения получали питательные соли, воду только из бака. Для того чтобы рыхлый наполнитель, находящийся в решете, не был переувлажнен, питательный раствор в баке даже при посеве не должен касаться его дна, а затем, по мере роста растений, уровень питательного раствора в баке еще больше понижается. В идеальном случае слой его на дне бака должен доводиться до 3—5 см. По мере испарения в бак подливается свежий раствор. Наконец, его можно сделать проточным.

Нетрудно понять, что в этих условиях основная масса корневой системы находится во влажном пространстве между реше-

том и слоем питательного раствора в баке и дышит кислородом находящегося там воздуха. Только кончики корней находятся в питательном растворе, и этого количества корневой системы вполне достаточно, чтобы с избытком снабжать растение всеми необходимыми питательными солями (рис. 7). Масса корневой системы, которую образуют растения, является избыточной. Часто бывает достаточно  $\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{100}$  поверхности ее для обеспечения нормального питания.

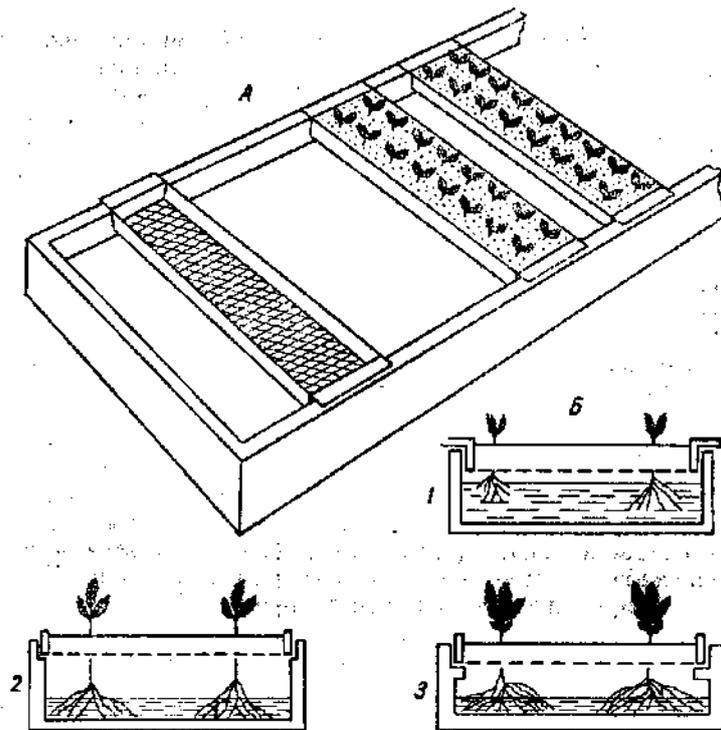


Рис. 6. Схема установки Жернике для выращивания растений на водных растворах.

А — общий вид бака с тремя решетками, из которых две набиты рытым материалом и засажены рассадой; Б — поперечный разрез бака. 1 — решетка держится на баке с помощью выступающих закраин; 2 — 3 — решетки крепятся на внутренних выступах баков.

В природных условиях мощный рост корневой системы необходим. Он связан с поисками пищи и воды, связан с необходимостью контакта корней с громадным объемом почвы. Здесь же, при выращивании растений в водных питательных растворах, это выработанное в процессе эволюции свойство корневой системы является ненужным. Вполне достаточно, если в контакте с пита-

тельным раствором будет находиться только небольшая часть корневой системы. Что касается непрерывного возобновления корней, их мощного роста, то он необходим при любой системе выращивания растений, так как в случае неблагоприятных условий воздействия среды старая корневая система может выйти из строя — погибнуть. Чем скорее появятся новые корни, тем легче

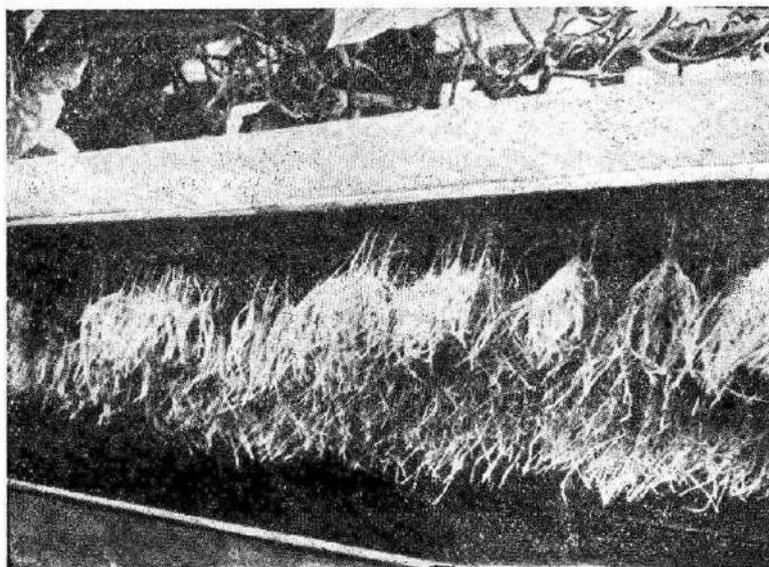


Рис. 7. Корни огурцов, проросшие через решето в питательный раствор.

растение справится с возникшими трудностями, тем устойчивее и выше будет урожай. Таким образом, несмотря на избыточность корневой массы для питания растений, и при водной культуре о росте ее необходимо заботиться. Чем лучше растет корневая система, чем больше ее масса — тем выше в конечном итоге будет урожай.

Устройство бака, предложенного Жерике, приводится на рис. 6. Длина его в первоначальном варианте составляла 3 м, ширина 60—75 см и высота 20—22 см. Бак накрывается рамой с сетчатым дном такого же размера. Рама устанавливается сверху на борта бака или входит внутрь его, опираясь на специальные пазы в верхней части стенок бака или на рейки, укрепленные сбоку стенок на определенной глубине от верха. При сооружении установок баки вообще можно устраивать любых размеров, но мелкие невыгодны, так как условия в них будут не столь постоянными. Рамы на бак можно устраивать и составные, что позволяет

менять площадь светового питания растений, раздвигая рамы и вставляя между ними порожние, без растений, или простые доски. Можно переносить такие рамы из одного бака в другой, из помещения теплицы в бак, расположенный на открытом воздухе, и наоборот. При переносе рам на дальние расстояния можно вставлять их в пустые баки без раствора, расположенные на тележке, предварительно увлажнив рыхлый материал, которым они наполнены.

Что касается баков, то они, как и в других случаях выращивания растений без почвы, при многократном повторном использовании питательного раствора устраиваются водонепроницаемыми. Изготавливаются такие баки из бетона, асфальта, железа, защищенного от коррозии асфальтом или рубераксом, или, наконец, из деревянной рамы, поставленной на стеллаж, или просто на землю. В последних случаях баки выстилаются пластикатной пленкой, не пропускающей воду.

Дешевле всего обходятся бетонные баки. Их можно делать очень больших размеров, похожие на бассейны, например  $45 \times 15$  м. Некоторые авторы утверждают, что можно строить баки из глины, смешанной с золой. Эти баки обходятся дешевле и держат воду без протечки в течение года.

Самым сложным и ответственным при выращивании растений по методу Жерике является приготовление решета, вернее выбор рыхлого вещества, которым оно наполняется. Это рыхлое вещество должно быть по возможности легким, хорошо впитывать и долго удерживать влагу, хорошо пропускать воздух, даже во влажном состоянии, должно быть светонепроницаемым, так как иначе раствор будет перегреваться и в нем начнут расти водоросли, и, наконец, хорошо удерживать растения. Решета в установке Жерике заменяют в этом отношении землю — они являются опорой, которая поддерживает растения. Конечно, в ряде случаев при культуре огурцов, томатов и других растений с длинными стеблями для их поддержания необходимо устраивать шпалеры, которые могут крепиться как на бортах рамы, так и на специальных несущих конструкциях. В последнем случае рамы становятся неподвижными и их нельзя уже передвигать с места на место.

Хорошим материалом для наполнения рам-решет являются мох, торф, стружки, опилки, рисовая шелуха и т. д. Лучше всего пользоваться при набивке решет смешанным материалом, приспособивая его к выращиваемой культуре растений. Так как дно рамы обычно затягивается проволочной сеткой с относительно крупными ячейками в 1—2 см, то на нее надо сперва настелить какой-нибудь волокнистый материал, задерживающий более мелкие частицы наполнителя, которые могут провалиться в бак и загрязнить раствор. Таким материалом могут служить волокнистый мох, солома, сено, мелкая упаковочная древесная стружка. Материалы укладываются во влажном состоянии. Они способны легко

задерживать мелкие частицы. Для заполнения следующего основного слоя можно брать опилки, нейтральный разложившийся торф, мелкие стружки от электрического рубанка и т. д. Лучше, однако, применять смесь этих материалов — стружек с торфом или опилок с торфом в пропорции: три-четыре части опилок или стружек на одну часть торфа. Наконец, самый верхний слой, если растения сеются семенами, можно заполнить более мелким материалом, например просеянным торфом или песком. Размер решет, по указаниям Жерике, не должен превышать  $120 \times 360$  см. Чтобы сетка не прогибалась, под нее крестообразно подводится толстая проволока, которая крепится на бортах рамы.

На своей установке Жерике получил очень хорошие результаты, выращивая растения как в теплице, так и в условиях открытого грунта. В 1934 г. 19 декабря в Калифорнии в неотапливаемых теплицах им было засажено 4 бака по 20 растений томатов в каждом. Размер бака составлял  $3,05 \times 0,76$  м, поверхность его равнялась  $2,3$  м<sup>2</sup>. Высота решета — 5 см; расстояние между дном решета и раствором — 2,5 см. Наполнялось оно стружками. Питательный раствор подогревался электрическим нагревательным кабелем до температуры 20—25°. Растения плодоносили около года и дали 554,5 кг плодов. Наибыший урожай плодов с одного растения достигал 12,4 кг, с 1 м<sup>2</sup> поверхности бака — 46,1 кг.

Картофель выращивался на открытом воздухе в больших баках размерами  $1,8 \times 3$  м, которые покрывались решетками с высотой бортов в 10 см. Внизу на сетку накладывались сырые стружки, на стружки раскладывались клубни. Клубни закрывались стружками или стеблями кукурузы до высоты слоя в 5 см, а сверху засыпались опилками или торфом, которые заполняли все промежутки. Сверху слоем в 1 см насыпалась песчаная почва. В подстилку перед посевом вносились питательные соли по 400 г на каждые  $2,25$  м<sup>2</sup> и затем такими же дозами под дождь растения подкармливались еще три раза в течение вегетации. При посадке непророщенными клубнями корни достигают раствора через 4—6 недель. Выращивание длилось 120 дней; урожай составил 167 кг/10 м<sup>2</sup>. Урожай, полученный Жерике, был очень высокий, он привлек к себе всеобщее внимание. Хорошо росли растения в его установке и у нас (рис. 8).

Метод, предложенный Жерике, казался очень громоздким. Большое количество мелких решет, обилие рыхлого материала, необходимого для их наполнения, создавало впечатление, что он мало пригоден для крупного производства и не может быть механизирован. Кроме того, наличие рыхлого материала затрудняло стерилизацию теплиц, а именно простота стерилизации теплиц является одним из основных преимуществ гидропоники. Подобный взгляд на метод Жерике, видимо, был неправильным.

В последнее время метод Жерике нашел последователей в Сев. Каролине (г. Санфорд) в лице трех ветеранов войны, за-



Рис. 8. Томаты, выросшие в установке Жерике в теплице Биологического института Ленинградского университета.

нявшихся круглогодичным разведением хризантем. После некоторых поисков они построили для этой цели две смежные теплицы, в одной из которых поддерживался летний, а в другой — осенний режим. Длина каждой теплицы составляла 76 м. В каждой теплице был построен один сплошной бетонный бассейн для питательного раствора, на бортах которого в два ряда укладывались металлические прочные рамы с решетчатым дном из перфорированного материала. Эти рамы наполнялись прокаленным вермикулитом, с которым цветоводы работали в качестве рыхлого наполнителя. Всего хозяйство имело 192 такие рамы, которые свободно перемещались вдоль теплиц с помощью простых подъемных сооружений (блоков), передвигающихся по рельсам.

Процесс выращивания хризантем был организован по конвейерному принципу. Каждую неделю за счет передвижки рам с края летней теплицы освобождалось место для 12 рам, в которые засаживались черенки хризантем. Эти рамы передвигались и через 9 недель оказывались в теплице с осенним режимом. Через 16 недель выращивание хризантем заканчивалось и производился съем продукции.

Замечательная установка по выращиванию хризантем показала, что метод Жерике может обладать всеми преимуществами, которые дает новый агроприем. В число этих преимуществ наряду с легкостью стерилизации теплицы, возможностью механизации и управления питанием безусловно входит и возможность переноса растений, произвольного уменьшения или увеличения расстояния между ними, возможность выноса растущих растений из теплицы в грунт или из открытого грунта в теплицу, что позволяет наилучшим образом использовать дорогостоящее внутри-тепличное пространство. Нетрудно понять, что при использовании метода Жерике все эти операции являются возможными. Если сделать каждую раму узкой, имитирующей однострочный или двустрочный ряд растений, то по мере роста растений расстояние между ними можно увеличивать, раздвигая рамы и устанавливая между ними доски или такие же рамы, не засаженные растениями. Точно так же, как это делалось с хризантемами, можно устраивать конвейерное выращивание растений, непрерывно готовя новую рассаду. Можно переносить рамы с рассадой для посадки из другой специальной теплицы; для дополнительного плодоношения ранние томаты можно весной переносить в открытый грунт, занимая теплицу более теплолюбивыми культурами. Наконец, подрачивая растения летом в открытом грунте и специальными приемами прищипки накапливая в них большое количество запасных органических веществ, можно переносить их на доращивание и плодоношение в теплицу и зимой при недостатке освещения без особых затрат иметь свежие плоды и овощи. Метод Жерике обладает всеми этими возможностями. Его можно смело рекомендовать для производственного испытания и дальнейшего усовершенствования.

### ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ В БАКАХ, ЗАКРЫТЫХ СЪЕМНЫМИ КРЫШКАМИ

Для выращивания растений на водном питательном растворе были предложены также баки, закрытые деревянными разборными крышками (рис. 9). Часть досок крышки укреплялась намертво, и в них по краям делались отверстия с прорезами, куда вставлялись растения. Другая часть крышки устраивалась в виде съемных люков. Если баки были большого размера, то после посадки растений и установки съемных досок крышка превращалась в сплошной настил, по которому можно было ходить для ухода за растениями. При проверке состояния растений люки можно было поднимать и таким образом следить за ростом и состоянием корневой системы.

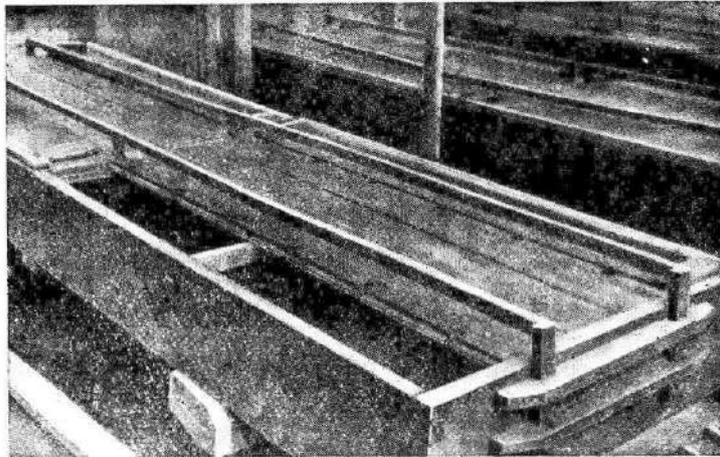


Рис. 9. Установка для выращивания растений в водных растворах с голой корневой системой (видны съемные крышки баков и отверстия для высадки растений).

Устройство баков при этой системе выращивания ничем не отличалось от баков, применяемых в других случаях. В качестве баков могут быть использованы железобетонные стеллажи, которые предварительно уплотняются цементным раствором. Могут устраиваться специальные баки или мелкие бассейны из цемента, асфальта, железа или дерева. Можно устраивать баки или бассейны, выстилая их водонепроницаемой прочной пластиковой пленкой.

Описанная система представляет собой не что иное, как простое перенесение техники лабораторного метода выращивания растений на водном растворе в производство. Если при малых размерах баков здесь можно добиться хороших успехов, то с

увеличением размеров установки в ней начинают появляться трудно устранимые дефекты. Эти дефекты заключаются прежде всего в нарушении герметичности крышки. Вследствие рассыхания и перекоса досок в ней появляются большие щели. В щели проникает сухой воздух, разогретый солнечными лучами. Корень, находящийся в воздушном пространстве бака, сохнет, перестает возобновляться. У растений ослабляется рост, и при наступлении первых же неблагоприятных условий они гибнут.

Для того чтобы добиться устойчивого успеха при выращивании растений в подобных установках, необходимо крышку герметизировать, что возможно только в мелких установках, в частности при выращивании рассады. В крупных баках или бассейнах необходимо применять специальные увлажнители, которые поддерживали бы достаточную влажность воздуха, находящегося в баке. Эта задача может быть решена различными приемами. Наиболее простой из них заключается в том, что бак или бассейн наполняют упаковочной древесной стружкой. Стружка будет смачиваться питательным раствором, при этом она не теряет своей упругости и заполняет все внутреннее пространство бака или бассейна. Стружка служит одновременно и увлажнителем воздуха, работая наподобие фитиля, и является прекрасной опорой для корня, способствуя пышному его развитию. Корень оплетает стружку со всех сторон и даже прорастает в щели крышки.

Вместо устройства сплошной зоны увлажнения можно защитить от подсыхания только корневую шейку и верхнюю часть корневой системы. Этот способ тоже представляет собой несомненный интерес, так как, способствуя быстрому росту и возобновлению корневой системы, он может быть применен при различных конструкциях выращивания растений в водных растворах. Самым простым приемом защиты корневой шейки от подсыхания является выращивание рассады в стаканах, сделанных из проволочной сетки и наполненных каким-либо рыхлым материалом (смесь опилок или мелкой стружки с нейтральным торфом, смесь торфа с крупным гравием, мох или смесь мха с опилками). Такие стаканы могут служить для выращивания рассады, а затем укрепляться под крышкой бака в специальные гнезда. Это, кстати, сильно упрощает технику высадки рассады. Впоследствии если уровень раствора в баках будет периодически подниматься так, чтобы раствор касался защитных стаканов, то содержимое их станет влажным и может вызвать усиленный рост новых корней. Вместо стаканов из сетки можно применять дырчатые гончарные горшки, прессованные брикеты из мха или пакеты из рыхлого материала, обтянутые марлей. Они также могут одновременно служить и для выращивания рассады и для защиты корневой шейки от подсыхания. Выращенная таким способом рассада может быть с успехом использована и при других приемах выращивания растений без почвы.

### ВЫРАЩИВАНИЕ РАССАДЫ В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Выращивание растений до созревания в баках с водным питательным раствором, закрытых деревянными крышками, вряд ли может считаться перспективным. Такое устройство не позволяет переносить растения с места на место, изменять между ними расстояние и является довольно громоздким — кустарным. Его можно рекомендовать только для мелких любительских уста-

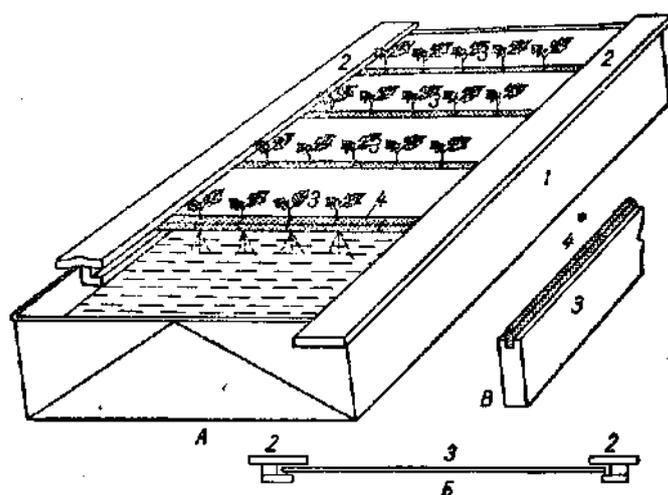


Рис. 10. Схема пикировочного бака для выращивания рассады на водных растворах.  
 А — общий вид бака; Б — поперечный разрез крышки бака; В — подложная планка крышки.  
 1 — железный бак; 2 — боковые рейки с пазами; 3 — планки; 4 — полоски из губчатой резины с прорезами, в которых укрепляются проростки.

новок, а в производстве — исключительно для выращивания рассады с голой корневой системой. У такой рассады при выемке совершенно не повреждается корневая система, и она прекрасно приживается в любых условиях. В частности, ее полезно использовать и при посадке в почву. В наших опытах мы высаживали в открытый грунт водную рассаду огурцов, на которой имелись цветы и мелкие завязи. Даже в таком состоянии рассада легко приживалась и не сбрасывала цветов. Молодая рассада огурцов, капусты или томатов приживается в земле очень легко, не замедляя своего роста, что чрезвычайно важно при получении ранней продукции. Она ведет себя лучше, чем выращенная в торфоперегнойных горшочках.

Для выращивания рассады с голой корневой системой в водном растворе изготавливается специальный пикировочный ящик из кровельного железа с высотой бортов 12—14 см (рис. 10). Же-

лезный ящик перед эксплуатацией обязательно дважды окрашивается асфальтовым лаком. Можно выращивать водную рассаду и в любом цементном стеллаже или баке. Для этого необходимо только, как и на бак из кровельного железа, изготовить крышку из передвигающихся деревянных планок, в одной из кромок которых в пазу укреплен тонкая пластинка из губчатой резины шириной в 1,5—2 см. В той части пластинки, которая высовывается из паза наружу, острым ножом делают прорезы на определенном расстоянии друг от друга. В эти прорезы будут при пикировке укрепляться проростки растений. Ширина планок также определяется площадью питания при высадке рассады. Например, для выращивания рассады томатов расстояние между прорезами в губчатой резине должно быть около 8 см, не менее 8 см должна быть и ширина реек сборной крышки.

Для закрепления реек и для их свободного передвижения на продольных стенках железного бака или бетонного стеллажа укрепляются сборники. Сборники представляют собой толстую рейку с выбранным пазом, в который должны свободно входить проростки. Сборники можно просто сколотить из трех тонких реек, причем среднюю рейку берут уже наружных. В этом случае между крайними рейками также образуется паз, в котором должны свободно передвигаться планки с полоской из губчатой резины. Сборники укрепляются в баке у верхнего края продольных стенок. Для укрепления сборника к ним сверху прибавляется более широкая и длинная доска, которая ложится на стенки бака. При сколачивании сборников из отдельных реек верхнюю из них делают более широкой и длинной, чем нижнюю. Эта рейка и удержит сборник на краю бака, не давая ему свалиться внутрь.

После того как сборники установлены на продольных стенках бака или стеллажа, в их пазы вкладывают планки с полоской из губчатой резины. В прорезы крайней планки вставляют проростки так, чтобы корни их наполовину были погружены в раствор. После того, как первая планка будет заполнена проростками, к ней вплотную придвигают вторую, засаживают ее и т. д. В результате на баке образуется плотная крышка с распикированными проростками. Если все операции сделаны правильно, то рассада в таких установках не требует в дальнейшем никакого ухода и растет примерно в полтора раза быстрее, чем в самой хорошей почве или торфоперегнойных горшочках.

#### **ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ НА ПИТАТЕЛЬНОМ РАСТВОРЕ В ТРУБАХ ИЛИ УЗКИХ ЖЕЛОБАХ**

В последнее время исследователей все больше и больше привлекает разработка конструкции, которая позволила бы использовать все преимущества, предоставляемые водной культурой. Рассматривая установку Жерике, мы уже отмечали, что современные варианты ее делают возможной передвижку расте-

ний — вынос из теплицы в открытый грунт и обратно, наконец, произвольное изменение расстояний между рядами растений в процессе роста. В этом отношении метод Жерике является шагом вперед по отношению к другим методам искусственной культуры. Однако он имеет и ряд недостатков, присущих частично и другим устройствам, предложенным для выращивания растений без почвы. К числу этих недостатков относится прежде

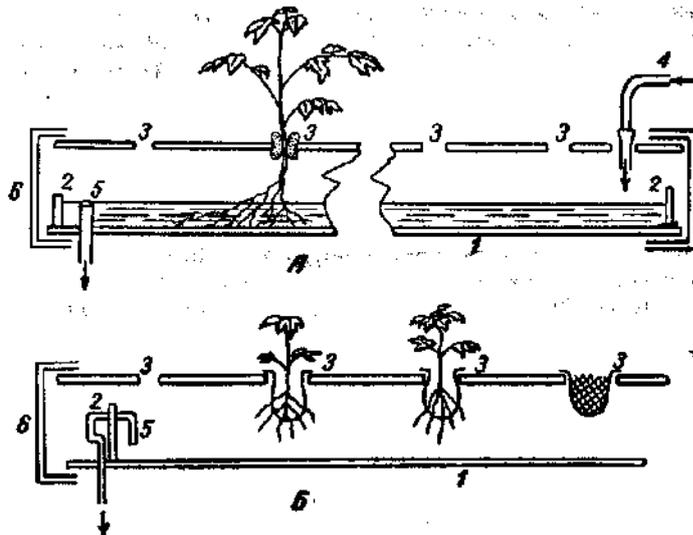


Рис. 11. Схема оборудования труб для выращивания растений на водных растворах (продольный разрез). А — с постоянным уровнем питательного раствора; Б — с переменным уровнем питательного раствора. 1 — стенки трубы; 2 — защитные перегородки; 3 — отверстия для посадки растений; 4 — труба для подачи раствора; 5 — стоковая труба или сифон; 6 — съёмные крышки.

всего наличие большого количества рыхлого материала, который мешает стерилизации теплиц и ежегодно должен сжигаться и заменяться свежим. Вторым серьезнейшим недостатком является наличие большого цементного бассейна или бассейна из какого-нибудь другого водонепроницаемого материала. Наличие даже ничтожной трещины в таком бассейне приводит к потере раствора, сложным поискам повреждений, к длительному ремонту и возможной гибели растений. Эти серьезные неудобства заставляют искать новые пути выращивания растений на водных растворах.

Новым, принципиально иным решением поставленного вопроса может быть выращивание растений в горизонтально расположенных трубах, сделанных из какого-нибудь легкого материала (рис. 11, А, Б). На продольной стенке такой трубы устраиваются отверстия для посадки растений. По дну трубы,

включенной в общую систему, периодически или непрерывно протекает тонким слоем питательный раствор. При выращивании растений в трубах целесообразнее всего выращивать рассаду в специальных сетчатых стаканчиках, которые просто вставляются в соответствующие отверстия трубы. Что касается уровня питательного раствора, то он может опускаться по мере роста рассады. Возможно устройство установки и с переменным уровнем



Рис. 12. Установка для выращивания растений в трубах с растущими томатами.

раствора, при наивысшем уровне которого смачиваются сетчатые стаканы, защищающие корневую шейку растений, что вызывает образование новых корней. Уровень раствора можно регулировать сифоном, замыкание которого отводит избыток раствора и служит сигналом для остановки насоса.

Выращивание растений в трубах или в других каких-либо узких закрытых желобах, представляющих собой отдельный ряд посаженных растений, решает целый комплекс вопросов. Трубы можно передвигать в теплице, изменяя световую площадь питания растений, трубы с растущими в них растениями можно пе-

переносить с места на место, решая проблемы получения ранней грунтовой и поздней тепличной продукции. Стоят они значительно дешевле какого-либо другого герметизированного оборудования, применяющегося для выращивания растений на питательных растворах вместо почвы. Наконец, выращивание в них не требует никакого рыхлого материала, который бы мешал стерилизации оборудования теплиц. Применение их, наконец, избавило бы хозяйство от аварий, необходимости производить во время выращивания растений сложный ремонт, ставящий под угрозу часть урожая растений.

На идею выращивания растений в трубках или других каких-либо узких резервуарах, имеющих малый диаметр, нас натолкнули некоторые опыты. Мы выращивали кукурузу в низких желобах из кровельного железа, герметически закрытых сверху деревянной крышкой из толстой доски, в отверстие которой были укреплены стебли растений. Высота желоба составляла всего 8 см, ширина — 20 см. На дне желоба находился слой питательного раствора толщиной в 2 см, который ежедневно обновлялся. Через желоб непрерывно продувался влажный воздух, лишенный углекислого газа. Рост кукурузы в таких условиях был поразительным. Особенно пышно развивалась корневая система, обещая богатый урожай. При вскрытии желоба через месяц после высадки в него молодой рассады кукурузы на дне его оказался сплошной войлок белоснежных корней, толщина которого превышала 3,5 см. Сухой вес корней шести растений достигал 56,4 г.

Выращивание растений в фанерных и асбоцементных трубах осуществлялось нами неоднократно в Ленинградском теплично-парниковом комбинате. В 1954 г. трубами диаметром 14 см было оборудовано отделение опытной теплицы площадью в 50 м<sup>2</sup> (рис. 12). В трубах выращивались как томаты, так и огурцы. Томатов было собрано 4—8 кг с 1 м<sup>2</sup> инвентарной площади, огурцов — 14 кг. Однако опыты по выращиванию растений в трубах имели переменный успех. В ряде случаев удавалось выращивать роскошные растения, в других случаях растения погибали, так что новый метод в настоящее время не может быть еще рекомендован для производства. С ним необходимо проводить дальнейшие исследования.

## ГЛАВА V

### ПЕСЧАНАЯ КУЛЬТУРА РАСТЕНИЙ

Выращивание растений на водном питательном растворе затрудняет отсутствие в нем поглощающего комплекса — коллоидов и более крупных твердых частичек, способных выравнивать свойства растворов, сглаживать внезапные колебания в нем содержания отдельных элементов, кислотности и, наконец, поглощать ядовитые примеси, встречающиеся в удобрительных препаратах, например соли тяжелых металлов. В результате этого при выращивании растений в водной культуре необходим тщательный повседневный контроль за составом раствора, необходимы тщательная отработка и соблюдение правил его составления, проверки солей и удобрительных препаратов на их пригодность для водной культуры и т. д.

Если применять вместо почвы различные искусственные материалы, обладающие хотя бы небольшой способностью к обменной адсорбции, то внимание и тщательность при составлении и уходе за раствором могут быть значительно ослаблены, а возможные ошибки в работе будут сглажены и не принесут губительных последствий.

Применение при выращивании твердого искусственного субстрата само по себе решает такую сложную в конструктивном отношении проблему, как предохранение корня от подсыхания, снабжение его одновременно питательным раствором и кислородом воздуха, а также предохраняет зону деятельности корня от перегрева и резкого изменения температуры. Одновременно с этим искусственные материалы могут быть подобраны с такими свойствами, что применение их будет выгоднее применения почвы, позволит стерилизовать оборудование теплиц, управлять питанием растений и получать высокие урожаи. К числу таких субстратов нужно прежде всего отнести крупный песок и гравий. Выращивание растений в которых получило в настоящее время широкое распространение, хорошо разработано и может быть

рекомендовано производству. Кроме песка и гравия, в качестве искусственного субстрата или составной части его применяются прокаленная пемза и вермикулит. В хозяйствах, расположенных в черте города или в местах, где трудно достать гравий и песок, иногда применяют отходы в виде кирпичной крошки, камешноугольного шлака, который дробят, сеют и промывают кислотой и т. д.; для увеличения поглотительной способности и влагосмкости к гравию или песку иногда прибавляют торф или, что значительно лучше, укладывают его особыми слоями.

Выращивание растений во всех этих субстратах дает прекрасные, более стабильные результаты, чем в водных растворах, но при этом новый прием агротехники лишается и некоторых своих преимуществ: он становится более похожим на выращивание растений в почве, требует примерно того же оборудования, лишает экспериментатора возможности двигать элементы конструкции вместе с растущими растениями. Растения здесь, как и при культуре в почве, можно перемещать только путем пересадки.

Часть преимуществ новой агротехники остается, конечно, и здесь. Применяя минеральный наполнитель, не обладающий пористостью, его также легко подвергнуть стерилизации, как и бетонное оборудование теплицы.

Техника выращивания растений на различных заменителях почвы может быть довольно разнообразной. В известной мере она связана со свойствами субстрата, проницаемостью его для воды и водоудерживающей способностью. Резко различаются по этому признаку песок и крупный гравий, почему часто в руководствах различают методы песчаной и гравийной культуры. Мы также будем в своем дальнейшем изложении придерживаться этой общепринятой классификации. Применяются в качестве искусственного субстрата и другие материалы. О них мы расскажем попутно.

Обычно указываются три метода выращивания растений в песке, гравии и других искусственных заменителях:

I — метод орошения с поверхности, который может осуществляться периодически или непрерывно «капля за каплей»;

II — субиригационный метод орошения, когда питательный раствор подается снизу, подтопляет субстрат и вновь вытекает в запасной бак;

III — метод выращивания на гравии или крупном песке с постоянным и зачастую довольно высоким уровнем раствора. Последний прием совершенно неприемлем на практике в том случае, если питательный раствор не является проточным, так как при высоком уровне раствор, как и при водной культуре, будет быстро обедняться кислородом. Наличие песка или гравия только ухудшит (ввиду затрудненной диффузии) дальнейшее поступление в него кислорода. Примесь же органических веществ, которые, хотя и в ничтожных количествах, постоянно имеются в песке, может вызвать процессы гниения и сделать существо-

вание корня в зоне подтопления невозможным. Подобные установки могут работать только на проточном растворе, но и в этом случае они являются несовершенными. Нам думается, что от них надо просто отказаться.

Субиригационная культура требует, чтобы заменитель почвы был легко проницаем для воды. При поднятии уровня раствора затопление должно совершаться одновременно во всей установке, так как иначе в месте входа питательного раствора образуется болото, а в дальних местах грунт не успеет пропитаться раствором. Точно так же при прекращении увлажнения раствор должен равномерно и быстро стекать в запасной бак. Длительное затопление может привести к гибели корневой системы. Таким образом, субиригационная культура возможна лишь на крупнозернистом субстрате. На песке выращивать растения можно лишь при поверхностном орошении — периодическом или непрерывном.

#### ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ В ПЕСКЕ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ УВЛАЖНЕНИИ

Одна из известных установок для выращивания растений на песке при периодическом поверхностном орошении разработана фирмой «Дегусса» во Франкфурте-на-Майне совместно с городским хозяйством г. Неумюнстера (рис. 13). Вместо обычных

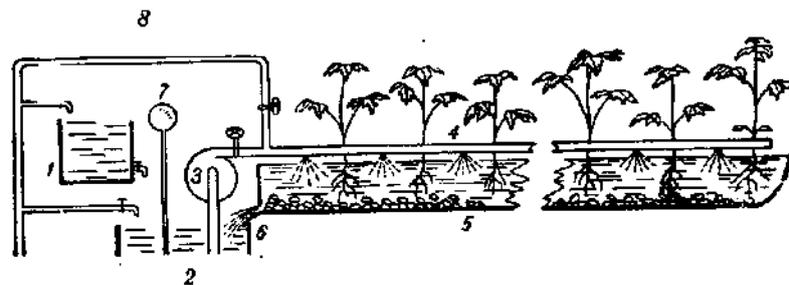


Рис. 13. Схема установки «Дегусса».

1 — бак для концентрированного раствора солей; 2 — бак для питательного раствора; 3 — насос; 4 — оросительная труба; 5 — бак для выращивания растений, выполненный песком; 6 — сток избытка питательного раствора в бак; 7 — измеритель концентрации питательного раствора; 8 — водопровод.

земляных грядок в грунтовой теплице устраивается бетонное основание, на котором вместо борозд, ограничивающих обычные гряды, устраиваются приподнятые бетонные дорожки. Таким образом, вместо гряд на бетонном основании получается ряд удлиненных бассейнов глубиной до 20 см. Для уплотнения бетона, который часто дает трещины и пропускает воду, поверхность таких гряд-бассейнов покрывается пластикатной пленкой «Регенхаут». В бетонных дорожках, окружающих торец гряды, делает-

ся щель, а дно бетонного основания устраивается наклонным, чтобы избыток раствора, не удерживаемый наполнителем, стекал в принимающий канал и по нему в центральный запасной бак для раствора. Так как стекающий раствор может быть загрязнен, то на его пути, прежде чем он попадет в запасной бак для растворов, устанавливается сито и, кроме того, в сточном канале устраивается отстойник. Эти очистительные устройства полезны и во всех других промышленных установках для выращивания растений без почвы.

Грядки-бассейны наполняются различными субстратами, которые затем будут периодически увлажняться раствором с поверхности. Питательный раствор при этом нагнетается центробежным насосом из резервного бака. Он поступает в продырявленные трубки, которые расположены близко над поверхностью субстрата. Вдоль каждой гряды, которая, как это обычно принято в теплицах, имеет ширину в 1—2 м, трубы располагаются в два ряда. Для того чтобы при поверхностном орошении грунт равномерно смачивался питательным раствором, он должен быть легко проницаем для раствора. Также выгодно, чтобы грунт удерживал как можно больше раствора, но в то же время хорошо аэрировался — пропускал воздух к корням. В качестве наилучшего субстрата фирма «Дегусса» рекомендует прокаленную пемзу. Очень удобно такую установку наполнять и крупным речным промытым песком с диаметром частиц не менее 0,7 мм (0,7—2,0 мм). Более мелкий песок для наполнения канавок применять не следует, так как пылевые частицы затрудняют движение воды. Наоборот, более крупные частицы диаметром в 2—5 мм не выгодны, так как они удерживают очень мало раствора, и увлажнение придется часто повторять. Кроме того, быстро пропуская раствор, гравий будет смачиваться только в тех местах, куда попадает струя, а соседние участки останутся сухими. Что касается пемзы, битого кирпича или других пористых частиц, то они очень легко обрастают с поверхности водорослями, и применение их, с нашей точки зрения, существенных выгод не представляет.

Орошение поверхности гряд, наполненных искусственным субстратом, можно производить периодически один-два раза в день довольно сильной струей. Можно после предварительного промачивания толщи грунта подавать раствор через мелкие отверстия непрерывно «капля за каплей», тогда через песок будет непрерывно протекать питательный раствор. Во всех случаях, чтобы не было переполнения, раствор должен с достаточной скоростью стекать в сборный канал. Таким образом, скорость подачи раствора должна быть согласована со свойствами субстрата, наполняющего грядки.

Фирма «Дегусса» рекомендует иметь два бака для раствора: один бак, расположенный в земле, который служит для приема стекающего раствора, частично изменившего уже свой состав,

другой бак (со свежим раствором), расположенный наверху, — из него свежий раствор самотеком поступает в перфорированные трубы. Отработанный раствор анализируется на общую концентрацию специальным прибором и после добавки солей или воды также поступает для увлажнения растений. Надо сказать, что расположение напорного бака наверху не всегда рационально, особенно в теплицах, так как бак затемняет растения. Целесообразнее иметь два бака, расположенные под землей, из которых раствор легко накачивать насосом.

Песчаные культуры дают при поверхностном орошении прекрасные результаты, так как песок обладает значительной поглощающей способностью по сравнению с гравием и делает неопасными небольшие примеси ядовитых веществ, имеющиеся в удобрительных препаратах. В песчаной культуре растения наименее чувствительны к составу питательных растворов и к их кислотности по сравнению с другими видами искусственных культур. Песчаные культуры, однако, имеют и некоторые недостатки, связанные с тем, что они применимы только при поверхностном орошении. Постоянно мокрая поверхность субстрата увлажняет воздух культивационных помещений, что благоприятно не для всех культур. При высыхании поверхность песка покрывается солевой корочкой. Попадая на растения, солевой раствор может вызвать повреждения. Для предотвращения подобных случаев система перфорированных труб должна иметь возможность подключаться к водопроводной сети, а сточная система, по которой протекает в бак избыток раствора из гряд, должна иметь возможность переключаться на канализацию. Это позволит смыть соль с поверхности растений и периодически промывать песок водой, предотвращая его засоление.

Песчаная культура может быть применена при выращивании растений и рассады в горшках. Горшки поливаются раствором или плотно устанавливаются в неглубокий водонепроницаемый стеллаж, на который периодически подается питательный раствор. Этот раствор будет снизу впитываться песком. Вместо песка или пемзы горшочки при выращивании рассады можно наполнять более сложными искусственными смесями.

#### **БЕНГАЛЬСКИЙ МЕТОД ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ**

Выращивание растений без почвы на искусственных субстратах рентабельно не только в больших производственных теплицах. В ряде случаев его целесообразно применять и в открытом грунте, в частности в мелких кустарных установках. Однако в последнем случае устройство сложного водонепроницаемого оборудования может оказаться слишком дорогим, а повторное использование питательных растворов неосуществимо из-за отсутствия квалифицированных работников, которые могли бы сделать соответствующие анализы. Все сказанное побуждало наряду с совершенны-

ми установками разработать и более простые, доступные мелкому земледельцу и любителю. Часть этих установок также можно отнести к песчаным культурам, поскольку искусственный субстрат в них должен обладать достаточной влагоемкостью. По своей технике эти установки являются не чем иным, как переходом к обычным приемам выращивания растений в почве. К этому типу установок принадлежит, в частности, так называемый Бенгальский метод. Как видно из названия, этот метод получил развитие в Индии, там он широко пропагандируется для мест, не имеющих пригодной почвы, или для мест, получающих избыточное увлажнение, при котором происходит затопление земельных участков. Бенгальский метод испытывался также в Израиле, Австралии, в Пакистане и Бирме.

Как можно упростить выращивание растений на искусственных субстратах, в частности на песке? До сего времени мы рассматривали установки, в которых растения выращивались в герметизированных бассейнах, при многократном использовании одного и того же питательного раствора, состав которого периодически исправлялся на основании анализов и дополнялся по мере испарения свежим. Упрощение возможно как по линии применения питательного раствора, так и по линии оборудования самой установки, причем оба эти момента связаны друг с другом. По линии оборудования упрощения сводятся к устройству негерметических установок из наиболее дешевого подручного материала. Что касается способов внесения питательных веществ, то в негерметизированных установках только в редких случаях возможно повторное использование питательного раствора. Обычно приходится мириться с потерей питательных веществ, как и при выращивании растений в почве. Внесение питательных солей в упрощенных установках производится путем периодического полива субстрата обычными питательными растворами, причем частота полива зависит как от погоды, так и от влагоемкости искусственного грунта. Летом в средних широтах растения приходится поливать 2—3 раза в неделю, зимой в теплицах — 1—2 раза в неделю. В тропиках поливать песок раствором приходится 3—4 раза в неделю, а иногда и ежедневно.

Вместо полива песка обычным питательным раствором или питательным раствором, разбавленным пополам (разбавление раствора применяют или при очень сильном испарении в жаркую солнечную погоду, или при низкой температуре, которая ограничивает рост), можно применять попеременно полив более крепким питательным раствором и чистой водой. Такое чередование препятствует образованию солевой корочки на поверхности и в ряде случаев приносит хорошие результаты. Следует, однако, помнить, что слишком концентрированный раствор может губительно действовать на растения, особенно если полив такими растворами применяется слишком часто. Увеличивать концентрацию питательного раствора больше чем в 3—4 раза против нор-

мы не следует. При поливе концентрированным раствором нужно следить, чтобы он не попадал на растения. Лучше после внесения такого раствора слегка обмыть растения водой. Другим упрощением техники ухода за растениями следует считать внесение сухих питательных солей на поверхность субстрата, как это фактически делается при подкормке растений под дождь при обычных приемах агротехники.

Внесение смеси сухих питательных солей часто применяется и при других приемах выращивания растений без почвы. Например, при водной культуре Жерике рекомендует при набивке решета рыхлым материалом добавлять в него смесь солей, составленную в тех же пропорциях, что и в применяемом водном питательном растворе. На каждый квадратный метр такого решета вносят по 15 г солевой смеси. Иногда полезно вносить отдельные питательные соли на поверхность субстрата и в тех случаях, когда желательно изменить характер роста растения. Такое поверхностное внесение иногда сделать проще, чем менять состав циркулирующего раствора. Можно внести дополнительное питание в субстрат, заменяющий почву, и в виде крепких растворов, причем, как и в случае внесения сухих солей, здесь надо соблюдать определенные правила. На 1 м<sup>2</sup> субстрата надо вносить не более 50 г солей и повторять внесение солей не раньше, чем через две недели.

Внесение в субстрат сухих солей особенно удобно делать в том случае, если установка расположена на открытом воздухе и часто идут сильные дожди, что, по существу, и составляет особенность бенгальского климата. В этих случаях сухие соли будут постепенно растворяться и достигать корня. При отсутствии дождей внесение смеси сухих солей заменяют искусственным поливом. Наконец, при частых и обильных осадках надо заботиться о том, чтобы питательные соли не вымывались из песка, для чего лучше вносить соли в трудно растворимом виде, гранулируя их или применяя другие способы обработки. Сухие соли вносят на поверхность субстрата в зависимости от погоды и от состояния растений раз в пять дней или раз в неделю в количестве 30—35 г на 1 м<sup>2</sup> (табл. 11).

Что касается упрощения в конструкции баков для выращивания растений, то здесь имеется много возможностей. В наиболее примитивных случаях предлагают на земле устраивать нечто, напоминающее насыпные грядки или летние парники. В землю вбиваются колья и на них приколачиваются доски. Эти боковые доски могут быть опущены ниже поверхности земли, тогда в ней может быть сделана соответствующая выемка. В раму из досок насыпают грунт, заменяющий землю. Можно туда насыпать чистый песок, смешать его с торфом или применить другие наполнители. В эти грядки высаживаются растения, которые поливаются питательным раствором или питание их осуществляется другими методами, принятыми для песчаной культуры. Можно

фактически заполнить подобные грядки легкой песчаной почвой, богатой перегноем. Поливая такие грядки питательным раствором вместо воды и внося на их поверхность сухие соли, в дождливое время можно с них получить прекрасный урожай. Таким образом, в подобных упрощенных установках грань между водной культурой и выращиванием в почве стирается. Все дело сводится, следовательно, к тому, имеется ли в распоряжении растениеводов пригодная почва или ее проще заменить искусственной средой из местных материалов.

*Таблица 11*  
Рецепты смеси солей, рекомендуемые при выращивании растений по Бенгальскому методу

Наименование удобрений или солей	Количество солей (в г)	
	для засушливого периода	для периода дождей
Натриевая селитра . . . . .	142	156
Сульфат аммония . . . . .	113	142
Гипс . . . . .	57	42
Суперфосфат . . . . .	85	71
Калийная соль . . . . .	42	71
Сульфат магния . . . . .	71	57
Микроэлементы . . . . .	0,45	0,45

При Бенгальском методе выращивания растений рекомендуется более сложное устройство гряд. Гряды должны быть приподняты над поверхностью почвы, а местность, на которой они расположены, должна иметь уклон для стока избыточной воды. Во избежание застоя воды должны быть снабжены дренажной системой и сами гряды. Гряды стараются устроить наподобие бетонных бассейнов, но из местного дешевого материала. Там, где есть камень, из него выстилают дно бассейна и устраивают невысокие стенки в 20—25 см. Камни скрепляют какой-нибудь водостойкой замазкой, а внизу вдоль боковых стен устраивают отверстия для стока излишков воды в борозду и дальше в какую-нибудь низину или яму. Боковые отверстия делают круглыми с тем, чтобы в засушливое время их можно было заткнуть.

Для обмазки камней рекомендуют смесь цемента, извести с глиной или дешевую, но более сложную замазку, приготовленную по следующему рецепту: 9 кг соды и 200—300 кг рубленой мокрой соломы перемешивается с 2,1 м<sup>3</sup> почвы и перелопачивается в течение недели. По мере высыхания к смеси добавляют новые порции воды. Через неделю или несколько больший срок, в течение которого солома перегниет, к массе добавляют 4 мешка цемента и 0,7 м<sup>3</sup> песка. После тщательного перемешивания смесь готова для обмазывания. При применении указанных замазок

можно получить плотные бассейны, которые в течение года не будут пропускать воду. Гряды делают шириной около 1,2 м и произвольной длины, сообразуясь с рельефом местности.

При наполнении бассейнов-гряд придерживаются общих принципов. На дно для облегчения стока избытка раствора укладывается слой камня диаметром 3—5 см; сверху камень засыпается песком. В других случаях готовят смесь из пяти частей гравия (камней с размерами частиц 0,6—1,5 см) и двух частей песка. В этом случае гравий увеличивает проницаемость песка для воды. При наполнении грядки на дне ее можно устраивать и специальные дренажные приспособления. Вот и все несложное устройство, которое рекомендуется для получения овощей в ближайших окрестностях больших городов и рабочих поселков. Земля вокруг городов не всегда достаточно плодородна, а с помощью сравнительно простых приспособлений города можно в избытке снабжать свежими дешевыми овощами. Ценным в этих методах является то, что они крайне просты и при выпуске специальной смеси питательных солей доступны широким массам после краткого и самого простого по форме инструктажа.

---

## ГЛАВА VI

### ГРАВИЙНАЯ КУЛЬТУРА РАСТЕНИЙ

Выращивание растений в гравии занимает промежуточное положение между песчаной и водной культурой. Оно лишено некоторых специфических преимуществ выращивания растений без почвы. Как и в песке, растения высаживаются в гравий на постоянное место и не могут передвигаться по произволу растениевода с одного места на другое. Однако гравий не обладает пористостью; его можно легко стерилизовать и при необходимости, промывая водой, менять режим питания растений. Гравий является также идеальной средой в том отношении, что он надежно предохраняет корень от подсыхания и перегрева, при смачивании он несет на своих поверхностях достаточное количество питательного раствора и обеспечивает идеальное аэрирование корневой системы. Наконец, гравий способен поглощать из раствора вредные вещества за счет обменной адсорбции и сглаживать изменения в питательном растворе. В ряде крупных установок выращивание растений в гравии дало прекрасные результаты. Все это заставляет рекомендовать его для широкого внедрения в производство.

Гравий легко пропускает воду, не оказывая ее прохождению никакого сопротивления. Вот почему поверхностное орошение его на практике мало применимо. В этих условиях почти невозможно добиться равномерного и достаточного увлажнения грунта. В настоящее время при выращивании растений на гравии применяют увлажнение его снизу, т. е. так называемую субиригационную культуру. Суть ее схематически представлена на рис. 14. Небольшой водонепроницаемый стеллаж и резервуар соединены между собой снизу гибким шлангом. Получаются два сообщающихся сосуда, один из которых наполнен гравием, а другой — питательным водным раствором.

Если поднять резервуар вверх, то раствор потечет в стеллаж и заполнит поры между частичками гравия. Гравий при этом

будет равномерно смачиваться на определенную глубину. Если резервуар опустить, то раствор стечет в него обратно, а в стеллаже гравий станет влажным, причем в промежутки между его зернами поступит много воздуха. Если увлажнение периодически повторять, то корень высаженного в гравий растения будет

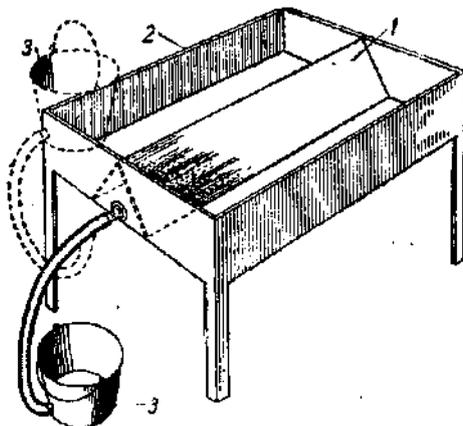


Рис. 14. Простейшее устройство для субирригационной культуры.

1 — дренажная труба, сколоченная из двух досок; 2 — бак для гравия; 3 — резервуар для питательного раствора.

находиться во влажной среде, одновременно получая много воздуха и минеральных солей. Рост его ускорится, очень большим может быть и конечный урожай.

#### ТИПЫ УСТАНОВОК ДЛЯ ГРАВИЙНОЙ КУЛЬТУРЫ

Все установки для выращивания растений в гравии, рекомендуемые для промышленного использования, принято делить на четыре группы: с одной стороны, установки оцениваются по способу подачи растворов в канавки с гравием, с другой — по тому, как из канавок вытекает избыток питательного раствора после смачивания им толщи гравия.

Если баки, в которых приготавливаются и хранятся питательные растворы, расположены внизу — в земле и подача питательного раствора в канавки производится непосредственно центробежным насосом, то такие установки называют «установками с прямой подачей растворов». Если, кроме нижнего «сточного бака», имеется дополнительный «напорный бак», расположенный выше уровня канавок, то такая установка называется «установкой с подачей растворов самотеком». В этом случае насос перекачивает питательный раствор из нижнего «сточного бака» в верхний, откуда он поступит в канавки с гравием самотеком.

С другой стороны, если избыток питательного раствора после увлажнения гравия вытекает непосредственно из дренажной системы канавок сразу после прекращения работы насоса или открытия заслонок (когда канавки наполнялись из напорного бака самотеком), то такие установки называются «открытыми». Под этим термином подразумевается, что отверстия дренажной системы все время открыты для вытекания из канавок избытка питательного раствора или воды, за исключением времени подачи в них питательного раствора. Если избыток питательного раствора после увлажнения гравия вытекает через автоматически действующие сифоны, то такие установки называются «закрытыми». В этих установках раствор начинает вытекать из канавок только в том случае, если уровень его достиг определенного предела и замкнул сифон. После вытекания основной массы раствора в сифон попадает воздух, и он перестает действовать, так что остатки медленно стекающего раствора скапливаются на дне канавки. Сколько бы в канавку ни попало раствора или воды, она не будет вытекать из нее, пока вновь не замкнется сифон.

Подобное деление является несколько условным. Так наличие верхнего резервуара связано исключительно с тем, где располагается установка и какой размер отдельных звеньев она имеет. Если установка находится в теплице, то иметь верхний резервуар невыгодно, так как он занимает много места и затеняет растения. Если установка расположена в открытом грунте и имеет большие размеры, то выгоднее иметь централизованное снабжение ее питательным раствором в виде надземного резервуара, который позволит автоматически за более короткий срок увлажнить все грядки раствором при меньшей мощности насосной станции. Таким образом, этот способ деления установок основан исключительно на технических удобствах подачи растворов. Принципа работы установки он не затрагивает.

Деление установок на открытые и закрытые зависит исключительно от того, как в ней решается задача периодического увлажнения гравия в канавках при подаче питательного раствора снизу. Наличие сифонов требует индивидуального присмотра за канавками и потому в крупных установках неприменимо; в этих случаях подачу раствора следует производить непосредственно в дренажную систему снизу. По достижении установленного уровня работа насоса прекращается, и через ту же дренажную систему раствор сливается в сточный бак. Таким образом, по этой номенклатуре установки и с прямой подачей раствора и с самотечной из напорного бака могут быть как открытыми, так и закрытыми. Необходимо отметить, что наличие сифонов не может обеспечить стока раствора при аварийных случаях, например, когда почему-либо насосная станция выбывает из строя в момент, когда сифоны не замкнуты, а канавки почти доверху наполнены раствором. В таком положении оставлять систему

целью. Необходимо обеспечить возможность быстрого стока раствора, так как иначе корневая система задохнется, и растения отомрут. Кроме того, после работы сифонов в канавках остается некоторый слой раствора, который бывает иногда полезно удалить. В условиях открытого грунта установки с одними сифонами работать вообще не могут. На почве для защиты от затопления дождем необходимо наряду с сифонами иметь открытый сток. Нужен он при стерилизации теплицы и при промывке стеллажей. Все это заставляет проектировать во всех установках наличие прямого стока из канавок через дренажную систему в сточный бак или в канализацию. Таким образом, деление и по этому признаку является нерациональным. Мы предлагаем делить установки для гравийной субиригационной культуры растений на открытую и закрытую по другому признаку — по способу подачи и отведения растворов. Если подача и отведение растворов идет по трубам, то такую систему следует называть закрытой. Ее трудно ремонтировать, много электроэнергии приходится тратить на преодоление сопротивления. Если подача и отведение растворов производится по канавкам, то такую систему рационально назвать открытой. Канавки надо, конечно, чистить и защищать от загрязнения, но их проще ремонтировать. Передача растворов по ним дешевле, но несколько медленнее ввиду невозможности создания сколько-нибудь значительного давления.

#### МАТЕРИАЛ ДЛЯ ГРАВИЙНОЙ КУЛЬТУРЫ

Гравий — это условное название материала, используемого вместо почвы. Под гравием подразумевается инертный материал с величиной зерен в 2—5 мм, легко пропускающий воду и воздух. Лучше всего брать речной промытый гравий — кремневый, кварцевый и т. д.

Присутствие в гравии небольшого количества более крупных частиц при выращивании ряда растений, например томатов или огурцов, не вредит, если количество крупных частиц не превышает 40—50% всей среды. Для корнеплодов, особенно моркови, наличие крупных частиц нежелательно; их надо отсеивать и насыпать вниз для предохранения дренажной системы от засорения мелочью. Необходимо удалять крупные частицы и в тех случаях, когда растения высеваются семенами. В таких случаях верхний слой грунта в 2—3 см нужно насыпать из мелкого просеянного гравия или крупного песка с величиной частиц 1—2 мм.

Чрезвычайно затрудняет работу, а иногда делает ее невозможной присутствие в гравии известковых частиц. Известняк реагирует с питательным раствором и подщелачивает его. В этих условиях из раствора выпадают фосфаты в виде нерастворимого осадка и делаются трудно доступными растению. Известно, таким

образом, надо избегать, нежелательны и другие материалы, обладающие щелочными свойствами.

Если материала, лишенного извести, достать невозможно, то небольшую примесь его можно до известной степени обезвредить обработкой слабым раствором фосфорной кислоты, раствором кислого фосфорнокислого калия или аммония или смесью, состоящей из фосфорной кислоты и суперфосфата. В этих растворах (примерно 0,5%) гравий, содержащий известняк, надо вымачивать до тех пор, пока он не перестанет поглощать фосфор.

Вместо гравия можно применять просеянную мелочь, получающуюся при изготовлении щебня. Щебень часто готовится из инертных пород, в этом отношении он вполне пригоден, но острые грани его, особенно на ветру, могут повредить стебель растения, и поэтому его можно применять только в смеси с другими материалами.

В черте города или рабочих поселков иногда пытаются применить для выращивания растений подручный материал, в частности шлаки, получающиеся при сгорании угля. Шлак в этих случаях необходимо дробить, отсеивать из него частицы нужного диаметра, а затем в зависимости от свойств примесей, промывать 3—5% серной кислотой или водой. Непромытый шлак смещает реакцию среды, выделяет ядовитые вещества и может губить растения.

Поскольку химическая обработка субстрата стоит дорого и требует большой затраты времени, без особой надобности гравий ничем заменять не стоит. Он является проверенным и надежным материалом, обеспечивающим быстрый рост и высокую урожайность растений.

#### УСТРОЙСТВО УСТАНОВОК ДЛЯ ГРАВИЙНОЙ КУЛЬТУРЫ

Под гравийную культуру с субиригационным орошением может быть легко приспособлена любая современная теплица, оборудованная железобетонными стеллажами. Для этого все щели в стеллажах тщательно промазываются цементным раствором до тех пор, пока они не станут водонепроницаемыми. Затем поверхность цемента выщелачивается водой, слегка подкисленной серной кислотой, и после тщательного просушивания покрывается дважды асфальтовым лаком, приготовленным на нефтяных остатках. Вместо лака для покрытия цемента можно использовать расплавленный руберакс № 4, который будет значительно дольше выполнять защитные функции. Каждый герметизированный стеллаж снабжается дренажной системой, которая способствует быстрому и равномерному распределению и сливу питательного раствора.

Дренаж применяется во всех гравийных установках, его можно устроить различными способами (рис. 15). Вдоль средней линии стеллажа в днище можно сделать канавку и закрыть ее черепицей

или цементными плитками, можно уложить полукруглый или треугольный желоб без дна из керамики, железа или дерева и, наконец, применить обычные дренажные гончарные трубки, уложив их вдоль стеллажа плотно друг к другу.

Для того чтобы дренаж не засорялся, концевые отверстия его пропускаются в защитные коробки, а все щелевые отверстия засыпаются крупной галькой диаметром 2—3 см. После устройства дренажа стеллаж заполняется отсеянным и промытым гравием с диаметром частиц 2—5 мм. В этот гравий высаживаются рассада растений. Если растения сеются семенами, то верхний слой гравия можно дополнительно засыпать крупным песком с диаметром частиц в 1—2 мм.

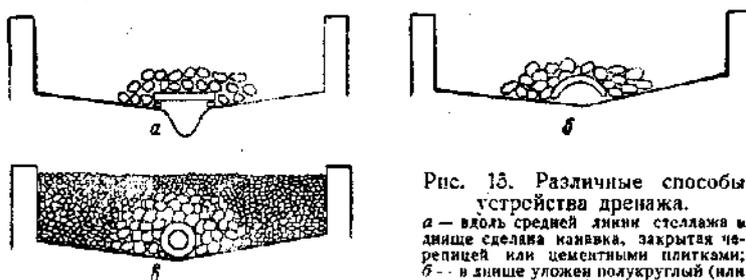


Рис. 13. Различные способы устройства дренажа.

*а* — вдоль средней линии стеллажа в днище сделана канавка, закрытая черепицей или цементными плитками; *б* — в днище уложен полукруглый (или треугольный) желоб без дна из керамики, железа или дерева; *в* — вдоль стеллажа плотно друг к другу уложены обычные дренажные гончарные трубы.

Если в защитную коробку заполненную указанным способом стеллажа подавать питательный раствор, то он по дренажной трубе быстро растечется по всему стеллажу, и уровень его будет подниматься равномерно в любой его точке. Подача питательного раствора может производиться как в верхнюю часть защитной коробки через кран, так и через патрубок, расположенный в дне стеллажа в участке, отгороженном защитной коробкой, или непосредственно в дренажную систему (рис. 16 и 17). Поднимающийся питательный раствор не должен по возможности смачивать верхние слои гравия или выступать на его поверхности. Для предотвращения этого можно в защитной коробке установить сифон (рис. 16), наружное колено которого соединяется со сточной системой. Сифон изготавливается из трубки диаметром 1,25—2,5 см и имеет в наружном колене полукруглый изгиб, облегчающий заполнение сифона. Сифон вмазывается в стенку стеллажа так, чтобы верхняя часть его была на 5 см ниже края стеллажа. Это несложное приспособление не дает возможности питательному раствору подняться выше желательного уровня, так как при превышении его сифон замкнется, и раствор будет удаляться в сточный бак, который устраивается под землей из металла или бетона. С этого момента дальнейшую подачу раствора прекращают. Избыток его будет стекать через дре-

нажную систему и удаляется сифоном. В стеллаже останется только та часть раствора, которая смочила гравий.

Опыты показывают, что для заполнения  $1 \text{ м}^3$  стеллажа с гравием необходимо  $430 \text{ л}$  питательного раствора. После удаления раствора сифоном гравий задержит около  $70 \text{ л}$  его; остальной раствор вернется в сточный бак. Для нормального роста растений увлажнение гравия питательным раствором нужно производить 3-5 раз в день, причем длительность пребывания корневой системы в затопленном гравии каждый раз не должна

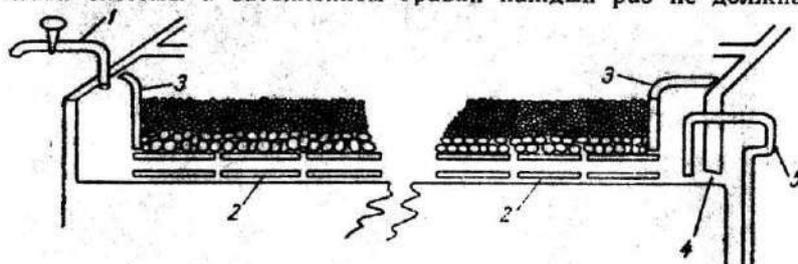


Рис. 16. Схема подачи питательного раствора при гравийной культуре крапом и удаления с помощью сифона.

1 — кран; 2 — дренажные трубы; 3 — защитные коробки; 4 — патрубок; 5 — сифон.

превышать 30 минут. Если эти условия не соблюдаются, то корень будет страдать от недостатка кислорода и рост растений замедлится. Подачу питательного раствора можно автоматизировать с помощью контактных часов или командного прибора, включая центробежный насос, подающий питательный раствор из нижнего, сточного, бака, на определенное время, достаточное для заполнения стеллажей. Скорость подачи питательного раствора и скорость удаления его сифоном должны быть согласованы.

Увлажнение гравия в стеллажах может осуществляться и другим методом, когда подача и сток питательного раствора производится по одной и той же системе труб, вмонтированных с одного края или в центр стеллажа. Центробежный насос накачивает раствор прямо в дренажную систему, с которой он плотно соединен патрубком (рис. 17). Хорошо, если в месте подачи раствора дренажная система будет иметь небольшое расширение. Если один и тот же насос одновременно обслуживает несколько стеллажей, то трубопровод должен быть рассчитан на равномерную подачу, а вся система точно отрегулирована. Как только раствор в стеллажах поднимается до нужного уровня, насос выключается, что может осуществляться автоматически. Одновременно включается обводная линия, находящаяся у выходного отверстия насоса, позволяющая направлять раствор мимо насоса по той же системе труб обратно в бак. Эта обводная линия может быть использована и для ряда других весьма полезных операций. Приоткрывая ее, можно регулировать давление раствора, подающегося насосом.

При любой системе оборудования стеллажей необходимо предусмотреть возможность слива содержимого стеллажей или бака непосредственно в канализацию. Это бывает необходимо при промывке, стерилизации оборудования, а также при внезапной порче раствора в случае загнивания корневой системы. На схеме такая возможность легко осуществима с помощью вентиля. Так, например, если отключить стеллажи, то раствор из бака можно подать в канализацию. При отключении насоса

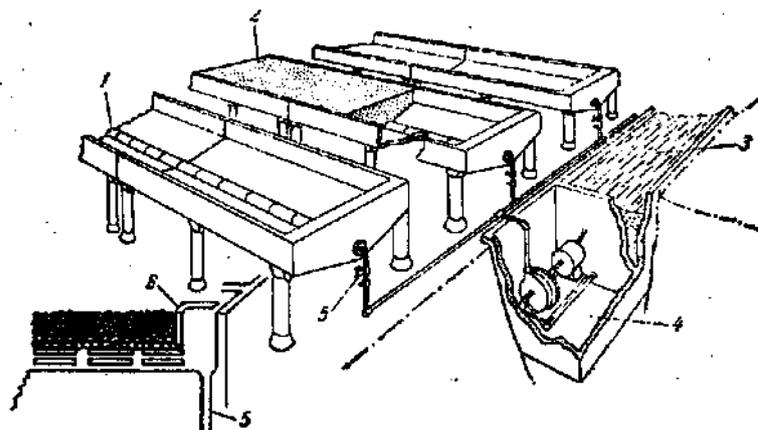


Рис. 17. Схема установки для гравийной культуры растений в стеллажах с прямой подачей раствора в дренажную систему. 1 — полукруглые дренажи; 2 — гравий; 3 — бак с раствором; 4 — насосный колодец; 5 — патрубок; 6 — защитная коробка.

в канализацию можно направить содержимое из любого стеллажа. Наконец, с помощью вентиля можно перекачивать раствор из одного конца бака в другой, перемешивая его содержимое, что очень удобно при приготовлении нового питательного раствора или при его подкислении. В этой установке крайне необходим второй запасной бак для раствора, так как без него трудно обеспечить стабильную работу установки.

Упрощенная установка была оборудована в экспериментальной теплице Леннарпита. Герметизированные железобетонные стеллажи были наполнены гравием или битым кирпичом. Подача питательного раствора производилась шлангом на поверхность гравия. Избыток раствора удалялся в сточный бак через различные трубы, установленные на 3—5 см выше дна стеллажа так, что на дне его всегда находился слой питательного раствора. Эта установка испытывалась с 1953 г. Под опыты были оборудованы два отделения теплицы с площадью стеллажей 22 м<sup>2</sup> в каждом. В одном отделении выращивались огурцы (рис. 18), в другом — томаты (рис. 19). Опыты повторялись в течение ряда лет и дали вполне удовлетворительные результаты.



Рис. 18. Огурцы, растущие в стеллажах, наполненных гравием.

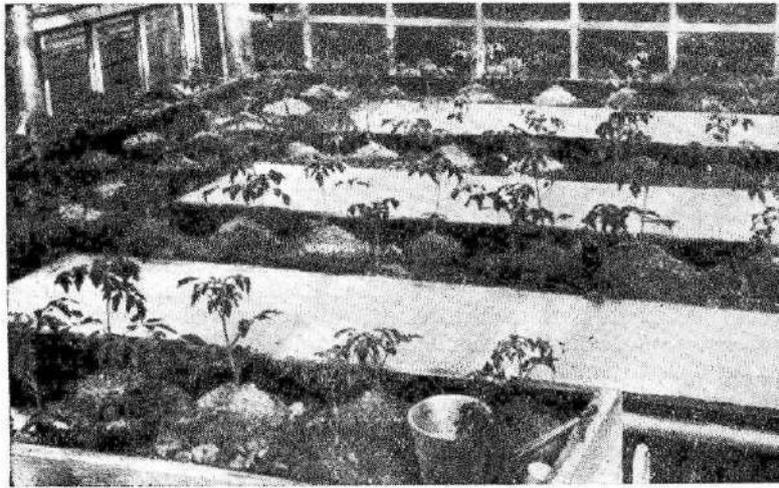


Рис. 19. Рассада томатов, высаженная в стеллажи, наполненные гравием.

В 1954 г. сбор огурцов начался 27 IV, окончился 23 IX. Урожай с 1 м<sup>2</sup> стеллажа достигал 29,2 кг. Высадка рассады томатов производилась 30 IV, сбор плодов начался 27 VI, окончился 1 IX. Урожай с 1 м<sup>2</sup> стеллажей достигал 14,9 кг.

В 1955 г. за время плодоношения с 10 IV по 27 IX с огурцов, выращиваемых на гравии, было собрано до 39,1 кг плодов с 1 м<sup>2</sup> стеллажей. Томаты за время плодоношения с 24 V по 14 VII дали урожай плодов до 18,8 кг с 1 м<sup>2</sup> стеллажа. Не менее успешно проходили опыты, проводимые комбинатом и в последующие годы под руководством ст. агронома Р. И. Холодовой. Урожай огурцов с 1 м<sup>2</sup> полезной площади в 1956 г. достигал 32,4 кг, в 1957 г. — 38,7 кг и в 1958 г. — 32,0 кг. Урожай томатов соответственно был в 1956 г. — 16,0 кг, в 1957 г. — 14,7 кг и в 1958 г. — 17,5 кг. Приведенные цифры показывают, что гравийная культура из года в год дает устойчивые урожаи.

#### **ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ В ГРАВИИ В ГРУНТОВОЙ ТЕПЛИЦЕ**

При оборудовании под гравийную субиригационную культуру так называемой грунтовой теплицы вместо стеллажей для выращивания растений устраивают бетонированные канавки или канавки, облицованные каким-нибудь другим водонепроницаемым материалом, например асфальтом или пластикатными пленками. Такие канавки располагают наподобие гряд. Глубина их составляет 20—25 см, длина не должна превышать 25—30 м. Канавки должны иметь небольшой уклон (примерно 0,5—1,0%) в сторону сточного бака, из которого питательный раствор подается в канавки насосом. Полезно устраивать небольшой уклон и от стенок к середине канавки. Это улучшает стекание раствора, подаваемого для периодического увлажнения гравия, и препятствует застою его на дне, значительно улучшая рост растений. Наполнение и эксплуатация этих канавок ничем не отличается от только что описанного наполнения и эксплуатации железобетонных стеллажей. Подача питательного раствора производится, как обычно в тепличных установках, из сточного бака с помощью центробежного насоса. Для больших установок слив растворов после увлажнения гравия через сифоны становится очень громоздким потому, что каждая канавка при такой системе требует индивидуальной проверки. Здесь целесообразнее и подачу и слив питательных растворов производить через одну и ту же систему труб, останавливая в нужный момент работу подающего насоса. Подача раствора в этом случае должна производиться в защитную коробку, примыкающую к дренажной системе и закрытую сверху колпаком. Такая защитная коробка будет препятствовать размыву гравия струей раствора в тех случаях, если подача его производится под большим давлением.

Особого обсуждения требует расположение канавок и проходов между ними. При устройстве опытных установок в открытом

грунте канавки часто делают полутораметровой ширины и такой же ширины оставляют проход между ними, не покрытый цементом. Такое расположение канавок в открытом грунте является безусловно рациональным. Широкие проходы улучшают освещенность растений и делают возможным проезд между канавками. Это сильно облегчает подвоз материалов при постройке и заполнении канавок, транспортировку продукции, ремонтные работы и т. д. В условиях защищенного грунта, где необходимо экономить дорогостоящую поверхность, канавки часто располагают так же, как и обычные гряды. В большинстве случаев ширину гряд принимают в 100—110 см и проход между ними в 30—35 см. Такая планировка канавок в теплице, по нашему мнению, является нерациональной.

Устройство широких земляных гряд и относительно узких проходов между ними объясняется особенностями питания растений в почве и совсем не обязательно для водной культуры, где вместе с раствором растение может получать любое количество питательных солей. С другой стороны, для успешной стерилизации теплицы крайне невыгодно оставлять земляные проходы между бетонными канавками. Наиболее целесообразно бетонировать всю поверхность теплицы, не оставляя по возможности в ней земли и песка, затрудняющих борьбу с вредителями и болезнями растений.

Таким образом, мы считаем, что наиболее целесообразно устраивать в грунтовых теплицах общую железобетонную площадку, имеющую незначительный уклон в сторону бака или траншеи, предназначенной для хранения питательных растворов. Эту площадку поперечными бетонными стенками, скрепленными железной арматурой с основанием площадки, целесообразно разделить на канавки, которые имели бы совершенно одинаковую ширину в 60 см, при толщине бетонных стенок в 10 см, и одинаковое оборудование. При выращивании томатов и огурцов, для культуры которых главным образом и предназначается установка, одни канавки могут быть заняты под двустрочную посадку растений, в то время как соседние с ними будут служить проходами. Ширина двух канавок, занятых растениями, и прохода вместе с толщиной перегородок в сумме как раз составит 140 см, соответствуя ширине гряды и борозды, принятой при выращивании огурцов и томатов в грунтовых теплицах. Площадь светового питания при таком расположении совершенно не меняется, а для подачи питательных солей ширина канавки вполне достаточна. Устройство более широких канавок вообще невыгодно, ибо это заставляет прокачивать совершенно излишние, увеличенные объемы растворов. Одинаковые размеры канавок и проходов и одинаковое оборудование их кажутся наиболее выгодными и в том отношении, что этот способ позволяет в случае надобности чередовать посадку в них растений, выигрывать время для подращивания новой рассады, а в нужный момент без ущерба для

производства осуществлять мелкий ремонт. Наконец, одинаковое оборудование канавок позволяет варьировать размещение растений, сдвигать канавки при культуре скороспелых штамбовых сортов томатов или, наконец, производить сплошную посадку растений. В этом случае проходить между растениями можно по бетонному бортику, разделяющему канавки. При работе в защищенном грунте сплошная посадка целесообразна при выгонке зелени и лука на перо, выращивании рассады, а также салата, редиса и других мелких растений.

Подобная установка была построена для испытания на экспериментальной базе Биологического института Ленинградского университета (рис. 20, А). Установка расположена под открытым небом. Размеры установки были выбраны не случайно, она являлась как бы фрагментом стандартной теплицы системы Адоратского Ленинградского теплично-парникового комбината, оборудуемой под гравийную субиригационную культуру. Размеры теплицы  $102 \times 18$  м, вдоль она разделена средним проходом, под которым скрыта траншея с коммуникациями. Длина канавок в нашей установке, которые мы предполагаем расположить в поперечном направлении от срединного прохода к скатам кровли, была равна 8 м. Сточный бак для растворов, примыкающий к поперечным стенкам канавок, соответствовал тоннелю с коммуникациями, расположенному под срединным проходом теплицы.

Уход за растениями в предлагаемой установке очень несложен. В сточном баке, который имеет размеры  $1 \times 1 \times 3,15$  м, на водопроводной воде готовится 2,85 т питательного раствора. Этот питательный раствор подается центробежным насосом по трубам в защитные коробки, расположенные в удаленном от бака конце канавок. Всего для заполнения пяти канавок нужно подать  $1,9 \text{ м}^3$  раствора, по 380 л в каждую канавку. Таким образом, в бак вмещается полутонный по объему запас раствора. Как только уровень раствора в канавках достигнет 18 см, замыкаются сточные сифоны, центробежный насос выключается, и раствор сливается обратно в бак, за исключением 70 л, которые расходуются на смачивание сухого гравия. Увлажнение гравия производится до пяти раз в сутки, и каждый раз расход раствора будет всецело зависеть от испарения воды растениями. При хорошем травостое в нашей установке за жаркий летний день на открытом воздухе испарялось до 5 л воды с  $1 \text{ м}^2$  канавки (в теплицах до 3 л воды с  $1 \text{ м}^2$  стеллажа).

В 1957 и 1958 гг. все канавки нашей установки засаживались овощными растениями. Проходов между канавками не оставалось. Растения росли хорошо и дали высокий урожай, а сама установка в техническом отношении работала безотказно. В канавке с кабачками (11 растений), молодая рассада которых была высажена в гравий 2 VI, к 13 IX было снято 44,12 кг плодов при среднем весе каждого плода 1,45 кг. При пересчете на  $10 \text{ м}^2$

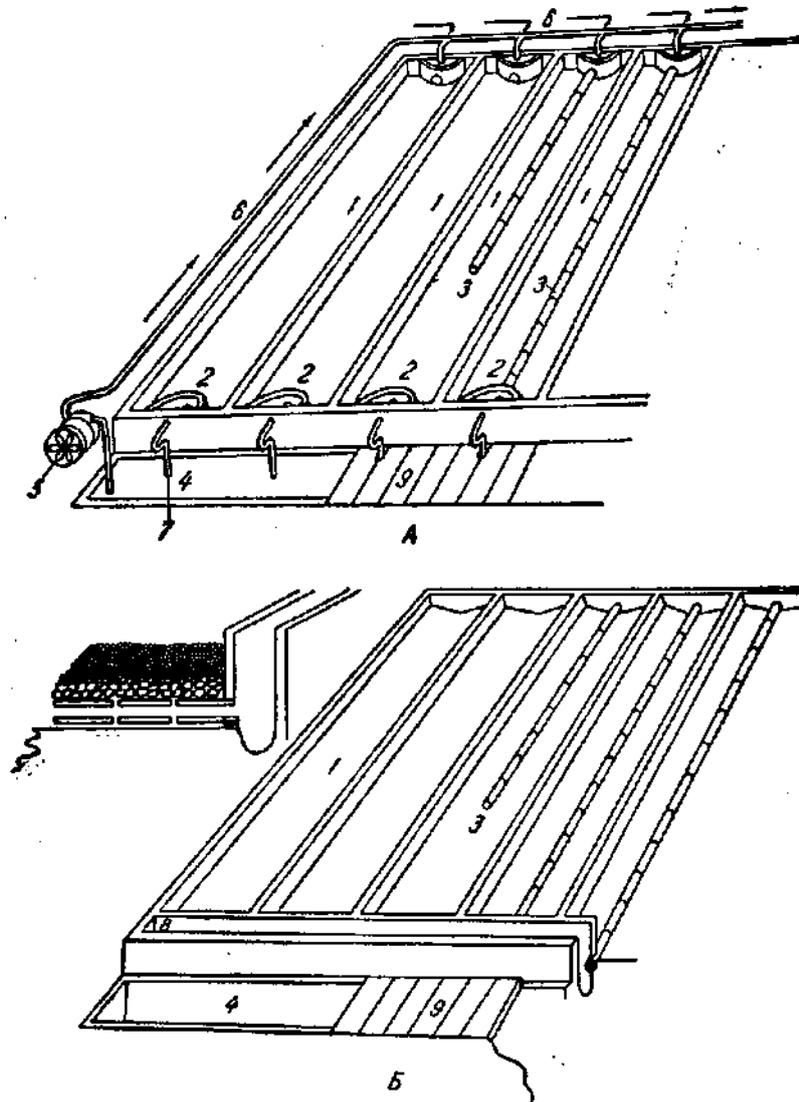


Рис. 20. Схема установки для выращивания растений в теплицах на гравии по субиригационной системе.  
 А — установка закрытого типа; Б — установка открытого типа; 1 — канавки, наполняемые гравием; 2 — защитные коробки; 3 — дренажные трубы; 4 — бак для питательного раствора; 5 — центробежный насос; 6 — трубы, подающие питательный раствор; 7 — сливные сифоны; 8 — узкий поперечный желоб; 9 — пласти, закрывающий бак.

это составляет около 78,8 кг (пересчетный коэффициент 1,787). Капуста № 1 (18 растений) была высажена рассадой 15 VI. Урожай кочнов с одной канавки, снятый в период с 10 IX по 2 X, весил 56,84 кг, что составляет 101,5 кг/10 м<sup>2</sup>. Максимальный вес кочна при такой плотной посадке достигал 4,91 кг.

Очень хороший результат был получен с картофелем. В 1957 г. в одну из канавок 20 V было высажено 26 пророщенных клубней картофеля Приекульский. Кусты были выкопаны 31 VII, когда ботва была еще совершенно зеленой. Несмотря на это, было собрано 36,61 кг клубней, что составляет около 65,0 кг/10 м<sup>2</sup>. Средний вес клубней, снятых с одного куста, составлял 1,4 кг, максимальный — 2,1 кг и вес наиболее крупного клубня — 420 г. Такой урожай раннего картофеля под Ленинградом можно считать очень высоким.

Через пять дней после уборки картофеля канавка была засеяна редисом. Всходы были очень дружные. Сбор урожая начался выборочно 7 IX и продолжался до 24 IX. Всего за это время было собрано 7,84 кг чистых корнеплодов, что при пересчете на 10 м<sup>2</sup> составляет 14 кг.

В конце мая 1958 г. вся установка сплошь была засажена картофелем. Несмотря на неблагоприятные погодные условия, урожай был собран также значительный. Сорт Приекульский, выкопанный 13 VIII, дал с одной канавки 35,7 кг клубней при среднем урожае с куста 1,4 кг и максимальном 2,0 кг; сорт Пауль Вагнер, выкопанный 29 VIII, — 35,5 кг при среднем урожае с куста 1,5 и максимальном 2,1 кг. Сорта Волховский и Детско-сельский были выкопаны в один день — 9 IX; они дали по 39 кг клубней при среднем урожае с куста 1,5 кг и максимальном 2,3 кг. В последнем случае урожай при пересчете составлял около 70 кг/10 м<sup>2</sup>.

Работая с описанной установкой, мы убедились, что она проста в обращении и устойчива в работе, однако нам кажется, что для крупных установок лучше проектировать открытую систему, в которой подача и отведение раствора будет осуществляться по желобам. Такое изменение проекта удешевит установку, упростит уход за ней и, наконец, сократит расход труб и электроэнергии (рис. 20, Б).

При устройстве открытой системы расположение и размеры канавок могут не изменяться, но устройство защитных коробок в них делается уже ненужным. Защитные коробки в данном случае заменяются узким поперечным желобом шириной в 20—30 см и глубиной в 30—40 см, который примыкает к поперечным стенкам канавок для выращивания растений. Из этого желоба в каждую канавку проходят отверстия; в отверстие вмазывается цементом короткий отрезок водопроводной трубы, на конец которой, просовывающийся в канавки, надевается дренажная трубка. Это устройство позволяет те канавки, в которых не выращиваются растения, отключать от общей системы, закрывая отвер-

ствия в трубках деревянными или резиновыми заглушками или колпачками.

При этой системе питательный раствор также нагнетается центробежным насосом из сточного бака, расположенного под землей, непосредственно в желоб, откуда он самотеком растекается по всем канавкам. Длина подающей трубы насоса может быть при этом крайне ничтожной, и потеря энергии, необходимой для преодоления сопротивления трубопровода, фактически сведена к нулю. Когда уровень питательного раствора достигнет нужной высоты, насос должен автоматически отключаться. Одновременно должна открываться в желобе заслонка, через которую раствор начнет стекать обратно в бак. При включении насоса эта заслонка закрывается. Дно желоба делается ниже дна канавок на 5 см, и при наличии в них наклона стекание раствора будет достаточно полным.

Открытая система, с нашей точки зрения, является наиболее совершенной из всех предложенных в настоящее время установок. Мы настоятельно рекомендуем испытать ее в теплицах.

До сих пор излагались общие принципы устройства установок для выращивания растений в гравийной культуре в теплицах. На рис. 21 приводится полная схема, в которой предусмотрена частичная автоматизация приготовления и подачи питательного раствора (Корбут, 1959). Схема этой установки разработана Отделом механизации защищенного грунта Главного конструкторского бюро по механизации овощеводства в содружестве с Научно-исследовательским институтом овощного хозяйства (НИИОХ) и Выставкой достижения народного хозяйства СССР (ВДНХ). Эта установка осуществлена в 1958 г. в совхозе «Тепличный» на площади 600 м<sup>2</sup>. В теплице вместо гряд были устроены в поперечном направлении железобетонные канавки длиной 515 см, шириной 70 см и высотой 25 см. Всего в теплице разместилось 72 канавки, которые сгруппированы в 4 секции по 18 в каждой. Все секции подгреваются одним и тем же питательным раствором последовательно, что позволило значительно сократить объем запасных баков.

Работа установки осуществляется следующим путем. Необходимое количество химикалий засыпается в бачки, куда из водогрейного бойлера подается теплая вода. Здесь готовятся концентрированные растворы солей.

Бак для приготовления и хранения питательных растворов оборудован поплавковым реле. При понижении в нем уровня раствора реле замыкает электрическую цепь и открывает электромагнитные затворы у бачков с концентрированными растворами солей и водопровода. Вода и концентрированные растворы солей в заданном соотношении поступают в бак. Одновременно включаются мешалки. По достижении постоянного уровня раствора в баке поплавковое реле закрывает затворы и отключает двигатель.

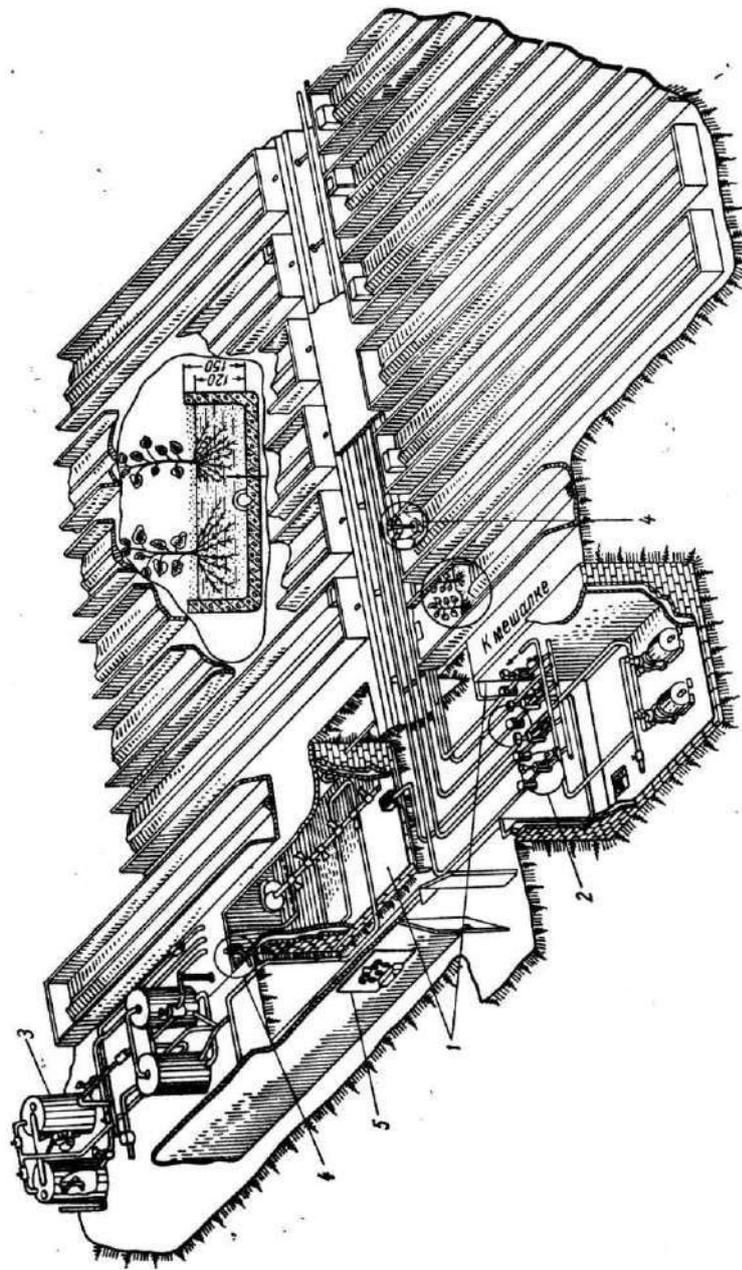


Рис. 21. Схема частичной автоматизации приготовления и подачи питательного раствора по Корбуту (1959).  
 1 — бак для питательного раствора со смесителем и насосной станцией; 2 — распределительная гребенка с трубопроводом, поставляющим питательный раствор посекционно в канавки; 3 — бачки для концентрированных растворов питательных солей; 4 — автоматические приборы для регулирования уровня раствора в бачке и канавках; 5 — щит управления с программным командопунктом (КСП — 12 V), пусковой и сигнальной электроаппаратурой.

Питательный раствор из бака в канавки подается по четырем трубопроводам, расположенным в тоннеле под центральным проходом теплицы. Подача раствора производится отдельно на каждую секцию непосредственно в дренажную систему канавок. Программа подачи раствора и последовательность включения секций осуществляется при помощи командного аппарата. Когда уровень раствора в канавках поднимается на 12 см, срабатывает регулятор уровня, установленный на каждой секции в одной из канавок, выключаются электронасос и электромагнит распределительного цилиндра, и раствор из канавок начинает стекать обратно в бак.

Обратный сток раствора происходит по тому же трубопроводу, но распределительный цилиндр позволяет направить раствор в бак, минуя насос. Это дает возможность, не дожидаясь полного стока раствора из предыдущей секции, направить его в следующую и тем самым уменьшить общее время проведения операции.

Если подкармливать растения три раза в сутки, то из трех тонн питательного раствора, подаваемого на каждую секцию, 25% остается в канавках; таким образом, на один полив на всю теплицу расходуется около 3 м<sup>3</sup> раствора, а за день — 9 м<sup>3</sup>.

Установка была испытана и дала удовлетворительные результаты. Она вполне может быть принята за основу при дальнейших усовершенствованиях. Нельзя не пожалеть, однако, что в схеме ничего не говорится об осуществлении подпочвенного обогрева теплиц, конструкция которого является в настоящее время одним из узких мест при переводе теплиц на гравийную культуру. Обычно трубы для подпочвенного обогрева на метр закапываются в землю теплиц, и их при периодических ремонтах приходится раскапывать. При устройстве часто расположенных бетонных канавок и особенно при наличии сплошного бетонного настила ремонт подпочвенной отопительной системы становится трудно осуществимым. Для решения этого вопроса нужны специальные исследования.

Нам кажется, что указанную проблему можно решить или путем устройства под теплицей небольшого подвала, т. е. обогрева воздушного пространства между землей и бетонным полом теплицы, или размещением отопительных труб в муфтах, протянутых между специальными траншеями.

Заканчивая рассмотрение установок, рекомендуемых для суб-иригационной культуры растений в теплицах, необходимо отметить, что все они могут быть использованы для выращивания рассады. В этом случае проростки, выращенные в песке или в опилках, пикируются в глиняные горшочки или в специальные пакеты, наполненные опилками, стружками, песком или мхом, смешанным с торфом. Горшочки устанавливаются в стеллажи или в канавку, дно их закапывается в гравий так, чтобы поднимающийся периодически уровень раствора в стеллаже или ка-

навке смачивал содержимое горшочка до нужной высоты. Если горшок глубоко закопан в гравий, то раствор будет промачивать его содержимое доверху, если горшочек поднят, то содержимое его будет увлажняться только у дна. Режим стеллажа при этом ни в чем не будет нарушен, и рассаду можно подращивать в теплице наряду со взрослыми растениями.

#### ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ В ГРАВИИ В ОТКРЫТОМ ГРУНТЕ

Принципы конструкции установок для выращивания растений в гравии в условиях открытого грунта остаются теми же, что и для теплиц. Здесь, однако, в распоряжении земледельца имеется много места, экономить которое бессмысленно. Выгоднее позаботиться об удобствах эксплуатации установки, а также предусмотреть специфику выращивания растений в открытом грунте и прежде всего возможность затопления растений дождями. Ливневые дожди могут затопить и погубить растения или настолько разбавить запасные питательные растворы в сточных баках, что сделают их непригодными для использования.

Специфическим здесь будет прежде всего расположение канавок. Расстояние между ними выгодно делать пошире для того, чтобы иметь возможность проехать между ними, для подвоза строительного материала, гравия, ремонта и т. д. По всей вероятности, их нужно планировать так, как обычно планируются парниковые хозяйства, когда между каждой парой парубней оставляется широкая дорога, по которой можно проехать на грузовой машине.

Ниже мы приводим несколько примеров устройства для суб-ирригационной культуры в открытом грунте, взятые из работ исследовательских учреждений США.

На рис. 22 показана схема установки Лаго в Арубе. В этой установке питательный раствор подается самотеком из напорных баков. Баки имеют размеры  $13,5 \times 0,75$  м и высоту 1,8 м, вмещая 18 250 л питательного раствора. Они обслуживают 9 канавок, которые построены из бетона, покрыты изнутри асфальтом и имеют 30 м в длину, 75 см в ширину и 19 см в глубину. Толщина стенок канавок 10 см. Между канавками оставлены проходы. Объем пустых канавок равен 38 500 л. Объем раствора, необходимый для их заполнения после набивки гравием, составляет приблизительно 40%, т. е. 15 500 л. Таким образом, верхний напорный бак имеет достаточную емкость для одновременного наполнения всех канавок. Для наполнения канавок можно предварительно перекачать в напорный бак все потребное количество раствора. Можно поступать и иначе: поддерживать в напорном баке постоянное давление порядка 15—30 см водяного столба. В этом случае насос будет все время подкачивать раствор в напорный бак, а сам бак может иметь значительно меньший размер. Питательный раствор поступит в защитные коробки и по

дренажной системе растекается по всей длине канавки. Выходное отверстие дренажной трубки во время наполнения канавки раствором закрывается колпачком или пробкой. После наполнения канавки до нужного уровня выходное отверстие дренажных трубок открывается, и раствор вытекает в общий сточный канал,

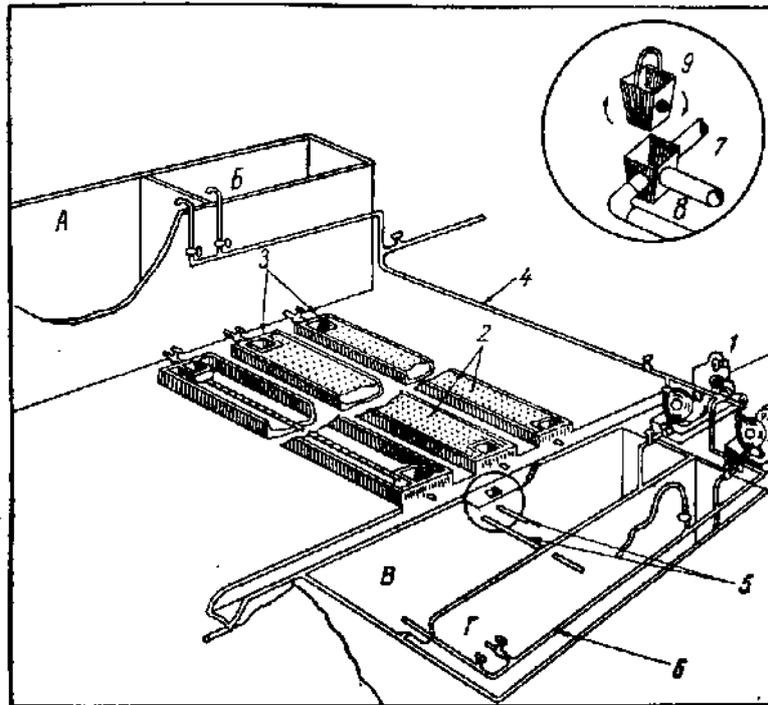


Рис. 22. Схема установки Лаго для гравийной культуры растений в открытом грунте.

*A, B* — напорные баки; *B, Г* — сточные баки.  
*1* — насос; *2* — канавки, наполненные гравием; *3* — защитные коробки; *4* — трубы к напорным бакам; *5* — сточные трубы; *6* — трубы для перемешивания раствора; *7, 8* — сточные трубы (деталь); *9* — коробка, регулирующая сток раствора.

который имеет длину в 13,5 м, ширину 30 см и глубину — у концов 16 см и посредине 20 см. Таким образом, вытекающий из канавок раствор будет собираться в центре канала, где устроен колодец с трехходовым краном, который по трубам может направить раствор или в сточные баки для хранения раствора или в канализацию. В частности, в канализацию направляется вода, попадающая в канавки во время сильного дождя.

Сточные баки устроены в земле из бетона и так же, как и вся система, изнутри покрыты асфальтом. Сточные баки имеют дли-

ну 18 м, ширину 165 см и глубину 185 см; они вмещают 37 000 л и могли бы обслуживать двойное количество канавок. Сточный бак разделен по длине на две части, что очень удобно для работы. Наличие запасного бака позволяет заранее приготовить свежий питательный раствор, не торопясь исправить состав старого раствора, перемешать жидкость, произвести при надобности ремонт, не останавливая работы системы, испытать преимущества двух различных растворов и т. д. Разделен надвое с этой же целью и напорный бак, из которого при надобности питательный раствор, минуя канавки, можно возвращать в сточный бак. Система хорошо продумана, удобна для проведения опытов, но очень громоздка и для производства должна быть модернизирована. Это проще всего сделать, увеличив число канавок, которые можно было бы разбить на секции по 9 канавок в каждой и последовательно увлажнять раствором. Поскольку весь цикл длится всего 30—40 мин, число таких секций можно было бы довести до 4—6. Вся установка могла бы обслуживаться одной и той же системой сточных баков, а верхний напорный бак можно было бы даже уменьшить в объеме за счет подкачивания раствора из сточных баков во время наполнения канавок. Насос в этой установке засасывает раствор через трубу диаметром 15 см и нагнетает через трубу в 7,5 см при скорости подачи около 500 л в минуту.

Другой пример открытой установки, разработанной с.-х. опытной станцией университета Пардью, приведен на рис. 23. В этой установке питательный раствор из напорного бака поступает в канавки по желобам. Желоба имеют в ширину 30—40 см и примерно такую же глубину. Дно желоба имеет уклоны в сторону сточного бака, расположенного под землей. Канавки расположены по обеим сторонам желоба и имеют 30 м в длину, 90 см в ширину и 20 см в глубину. Между канавками оставляются широкие проходы, равные по ширине канавкам (90 см). Дно канавок имеет уклон к центру в 25—50 мм и уклон по длине в сторону желоба в 5—10 см.

Желоб соединен с дренажной системой канавок отверстиями диаметром в 10—15 см. Дно желоба должно быть ниже дна канавки не менее чем на 5 см, чтобы весь раствор из них смог стекать в сточный бак. Боковые стенки желоба также выгодно приподнимать над стенками канавок на 10—15 см так, чтобы раствор в канавки можно было подавать под некоторым давлением. Желоб может оставаться открытым или закрываться сверху деревянными, металлическими или железобетонными плитами.

Для того чтобы направлять движение раствора в нужную сторону, в желобах устроены заслонки или маленькие шлюзные ворота. На схеме показано двое таких шлюзных ворот, причем расположены они около сточного бака для растворов. Если все шлюзы закрыты, то при открывании вентиля у напорного бака раствор из него пойдет в сторону канавок, расположенных по обе

стороны напорного бака. Когда канавки будут заполнены раствором, шлюзы откроются, и раствор из них потечет в сточный бак. При надобности раствор из канавок можно спускать прямо в канализацию, перекрывая третий шлюз, ведущий к сточному баку, что на схеме не указано.

Как и во всех крупных установках, здесь выгодно иметь несколько самостоятельных секций, особенно если они располагаются уступами. В этом случае раствор из напорного бака на-

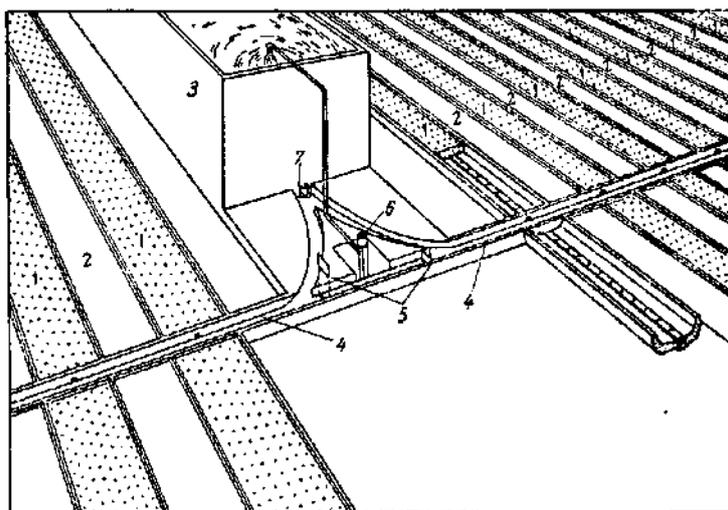


Рис. 23. Схема установки для гравийной культуры растений, разработанная с.-х. опытной станцией университета Пардью.  
1 — канавки с гравием; 2 — проходы между канавками; 3 — напорный бак; 4 — желоба; 5 — шлюзные ворота; 6 — насос; 7 — вентиль.

правляют сначала в канавки верхнего уступа, после их наполнения тот же раствор спускают на следующий уступ и т. д. вплоть до спуска его в сточный бак. Строить рекомендуется секции из 25—50 канавок, обслуживаемых одним общим желобом. При расположении уступами каждая секция должна размещаться на 30 см ниже другой. Каждая секция в 50 канавок занимает приблизительно площадь в 0,4 га.

На рис. 24 представлена схема закрытой установки Шелла. Особенность ее заключается в том, что наполнение канавок раствором происходит в ней до тех пор, пока не замкнутся автоматически действующие сифоны, расположенные в защитной коробке на противоположном конце канавки. Как только сифоны замкнутся, раствор начнет вытекать из канавок, и насос, которым он подается из нижнего сточного бака, прекращает свою ра-

боту. На схеме представлена каскадная установка, использующая пологий рельеф местности. Из сифона канавок, расположенных на верхнем уступе, раствор попадает не в сточный бак, а в канавки второго уступа, расположенные ниже первого. Для этого в конце канавок устроен небольшой бачок, из которого труба ведет в защитную коробку канавок второго уступа. Если позволяет местность, можно устроить и третий каскад, после наполнения которого также через сифон раствор попадет в сточный

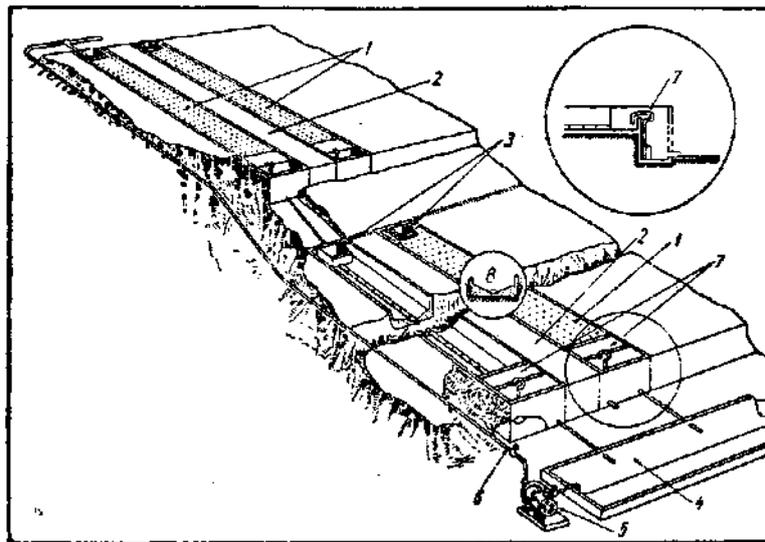


Рис. 24. Схема установки закрытого типа для гравийной культуры растений, разработанная Шеллом.

1 — канавки с гравием; 2 — проходы между канавками; 3 — защитные коробки; 4 — резервуар для раствора; 5 — насос; 6 — трубы, подающие раствор; 7 — сифоны; 8 — поперечный разрез канавки (деталь).

бак. Из сточного бака периодически раствор накачивается в верхнюю канавку и т. д. Это перекачивание производится смотря по погоде и скорости роста растений до пяти раз в сутки. Оно может осуществляться автоматически.

Так как раствор после смачивания гравия в канавке уменьшается в объеме, то каждую нижележащую канавку приходится делать меньшего объема, вернее меньшей длины, иначе раствора на заполнение канавки не хватит, и сифон окажется не включенным. Объем канавки каждый раз приходится уменьшать примерно на 20%, ибо такое количество раствора расходуется на смачивание гравия. Например, верхнюю канавку устраивают 36 м длиной при обычной глубине в 20 см и ширине в

90 см, вторую — 30 м длиной и третью — 24 м длиной. Сифон делают из трубки диаметром 2,5—5,0 см и нижний конец его опускают для надежности заполнения в небольшую чашку с водой. В остальной установке Шелла ничем не отличается от других, она может иметь напорный бак и наполняться из него самотеком.

К недостаткам схемы относится отсутствие аварийного прямого стока растворов из канавок. Такой сток возможен только из нижних канавок каскада. Неудобно также отсутствие запасного сточного бака для растворов, что затрудняет проведение многих необходимых манипуляций. В установке необходимо предусмотреть также подачу растворов на любую ступень каскада на случай, если одна из канавок окажется неисправной. Наконец, в схеме не указано, как при наличии большого числа канавок осуществляется регуляция скорости их заполнения.

#### ВЫРАЩИВАНИЕ РАСТЕНИЙ НА ВЕРМИКУЛИТЕ

Кроме гравия, в последнее время в качестве среды для выращивания растений широкое распространение получает вермикулит. Он значительно легче гравия, обладает большой поглощательной способностью и так же легко, как гравий, пропускает воду. Первоначально применять его для выращивания растений стали в Южной Африке лет 10 тому назад.

Вермикулит — минерал из группы гидрослюд. В химическом отношении представляет собой комплекс силикатов алюминия, магния и железа и состоит из тонких слоистых пластинок; удельный вес его — 2,4—2,7.

Характерным свойством вермикулита является вспучивание при нагревании до 250—350°. Объем породы увеличивается при этом в 18—25 раз. При прокаливании в вермикулите образуется масса воздушных полостей, он становится очень легким и плохо проводит тепло. 1 м<sup>3</sup> прокаленного вермикулита весит всего 100—150 кг и во много раз больше своего веса поглощает воды. Как все другие материалы, для выращивания растений пригодны только крупные частицы вермикулита, отсеянные от мелочи, которые, забивая пространство между крупными частицами, затрудняют доступ воздуха к корням.

Выращивание растений в вермикулите применяется в настоящее время в Южной Африке, в Родезии, Юго-Западных Штатах США. Имеется несколько коммерческих установок, выращивающих томаты, латук, водяной кресс и декоративные растения. Применяют вермикулит и многие любители, которые выращивают в нем овощи и цветы.

Вермикулит применяется при набивке решет вместо органических рыхлых материалов. В этих установках он очень выгоден. Ничтожный вес подсушенного вермикулита позволяет с легкостью передвигать набитые им большие решета. Его не надо

ежегодно сжигать, как это делают с торфом, стружками или соломой. Наконец, он хорошо удерживает соли и микроэлементы, их можно вносить в вермикулит перед посадкой растений.

Вермикулит применяется вместо гравия и при субиригационной культуре. Обладая большой поглотительной способностью, он полностью страхует успех выращивания растений от случайных неполадок с питательным раствором, а в дождливый период при выращивании растений в открытом грунте предохраняет питательные вещества от вымывания.

Бентли (1955), предложивший этот метод, выращивает растения в баках длиной в 15 м, шириной в 1,2 м и глубиной в 22,5 см. Площадь такого бака—18 м<sup>2</sup>. Набивка бака производится примерно так же, как при гравийной культуре. На дно насыпается галька с диаметром частиц около 1—2 см, затем идет слой крупного промытого песка толщиной в 0,4 см. Сверху песка насыпают вермикулит. Слой его составляет 15 см. Наконец, верхние 2 см бака остаются свободными. Баки делаются из цемента или кирпича. На площади 4000 м<sup>2</sup> размещают примерно 100 таких баков.

Урожай растений, растущих на вермикулите, достигает огромной величины. Достаточно сказать, что за 14 недель роста в Северной Каролине с одного бака было собрано 376,9 кг картофеля, что составляет при пересчете на гектар 2094 ц. Томатов с гектара было получено 2500 ц и т. д. Успешные опыты проведены по выращиванию в вермикулите эфиромасличных и лекарственных растений. Лекарственные препараты и эфирные масла получают от таких растений очень высокого качества. Особенно хорошие результаты получены для растений, алкалоиды которых находятся в корневой системе. Урожай корней в вермикулите был получен в 20 раз больше, чем в почве.

Бентли, автор книги «Вермикулиталоника», демонстрировал на интернациональном конгрессе садоводов фильм, посвященный выращиванию растений в вермикулите. Были показаны установки в пустыне Юго-Западной Африки, где за год выпадает 25 мм осадков, в пустыне Калахари, в тропической Африке, в районе разработки каменного угля, в котором вода накачивается за 35 миль из р. Замбези, установка в субтропическом климате, где осадков выпадает до 1375 мм за 3 месяца, а иногда за 1 день до 75—100 мм, установка в черте города Наталя, специально созданная для культуры латука, и, наконец, коммерческая установка для выращивания гвоздики в местах, где земля не годится для ее нормального выращивания.

Опыты с вермикулитом или с другими, сходными по своим свойствам материалами представляют несомненный интерес.

## ГЛАВА VII

### УСТАНОВКИ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ БЕЗ ПОЧВЫ ДЛЯ ЛЮБИТЕЛЕЙ

Выращивание растений без почвы должно получить у любителей большое распространение. Этот метод дает возможность получать на небольшом пространстве — в саду или на окне роскошные по качеству цветы. Метод освобождает от грязи и обязательного ухода за растениями. Наконец, выращивание растений без почвы имеет большое познавательное значение, в школе является незаменимым по наглядности методом наблюдения за жизнью растений.

При применении его видно развитие подземных органов, а питательная среда создается искусственно из химических веществ определенного состава и может изменяться в любом направлении.

За рубежом выращивание растений без почвы среди любителей цветов широко распространено. Во многих странах имеются специальные общества. Производство выпускает для этой цели специальные красиво оформленные вазоны из керамики и стекла. В них помещается такой запас питательного раствора, который обеспечивает рост растений по крайней мере на две недели. С помощью специальных устройств можно обеспечить автоматический уход за растениями и на более длительное время, например на все время отпуска.

Помимо посуды и специальных установок, некоторые фирмы выпускают для приготовления питательных растворов специальные таблетки весом в 1 г каждая или смеси солей в таком количестве, что содержимого их достаточно для приготовления питательного раствора определенного объема. Таблетки содержат все необходимые для растения питательные вещества в должной пропорции. В крупных городах состав их может быть подогнан и под особенности местной воды. Выпуск таких таблеток или готовой смеси солей намного упрощает самые сложные операции — покупку солей и приготовление из них питательного раствора.

Растения без почвы могут выращиваться не только в комнатах. Очень удобно выращивать растения на наружных подоконниках, на балконах и даже на стенах домов. Наконец, выращивание овощных растений без почвы получает распространение во дворах или садах в черте крупных городов, где оно ограничено недостатком места, но имеются под рукой строительные материалы, водопровод, энергия и т. д. Громадные урожаи, которые можно получить при выращивании растений в искусственной среде, способны увлечь любителей и дать несомненную выгоду. Большое значение имеет при этом высокое качество продукции овощей и цветов и возможность получать цветы, которые способны стоять в комнате неограниченное время потому, что их не надо срезать. Взрослая рассада, имеющая бутоны, может высаживаться в специальные вазоны и переноситься в помещение.

Самым простым приспособлением для выращивания растений без почвы являются склянки или вазочки, которые имеют у горловины перетяжку (рис. 25). В такие склянки задолго до появления современных приемов выращивания растений без почвы в Голландии высаживались луковичные растения, выгонка которых производилась на простой воде без добавки к ней питательных солей. Сейчас этот простой и изящный прием не потерял своего значения, но вместо воды в склянку надо наливать питательный раствор. Количество виссенных солей можно сделать достаточным для выгонки растений, при подсыхании — разбавлять его простой водой.

При классической водной культуре (рис. 26) пророщенные в сырых опилках или в песке семена пикируются сразу на постоянное место в стеклянные банки, наполненные питательным раствором. Банки лучше брать не очень высокие, наподобие тех, в которых продаются консервы или варенье. Банки должны быть плотно закрыты деревянными крышками, укрепленными в горловине так, чтобы они не смогли свалиться и поломать растения.

В центре крышки просверливают отверстие диаметром в 1,5—2 см. В это отверстие с помощью ваты или мха укрепляется стебелек проростков так, чтобы корешки их касались питательного раствора. Сбоку крышки делают одно-два отверстия поменьше. В них вставляются палочки для подвязывания растений. Часто к отверстию в крышке, в котором укрепляются проростки, делают прорез. Это позволяет в любой момент вынуть растение и, не повреждая его корневую систему, пересадить его в другое место. Особенности ухода за растениями в подобных установках сводятся к тому, что, по мере того как корни растения будут расти, нужно снижать уровень питательного раствора. Иначе

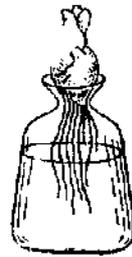


Рис. 25. Сосуд для выращивания луковичных растений на воде.

они могут пострадать от недостатка кислорода. Корни взрослых растений не должны быть погружены в раствор больше, чем на одну треть.

В остальном уход за растениями остается общим. Необходимо следить за кислотностью раствора и ее исправлять, вместо испарившегося раствора подливать свежий той же крепости, что и исходный, или разбавленный в два-три раза. При выращивании декоративных комнатных растений лучше пользоваться разбавленными растворами.

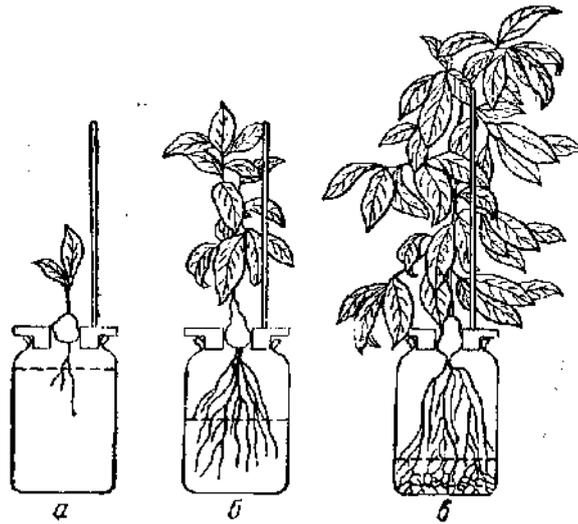


Рис. 26. Классический прием выращивания растений в водной культуре.

а — уровень раствора при посадке культуры; б — уровень раствора молодого растения; в — уровень раствора взрослой культуры.

В любительских установках можно пользоваться маленькими бачками с питательным раствором, которые вместо крышки закрываются рамками с сетчатым дном, в эти рамки помещен какой-нибудь рыхлый материал (рис. 27). Крышки в этих случаях лучше иметь составные, что позволит работать более оперативно, выращивать в одном и том же баке несколько различных растений, следить за развитием корневой системы, изменять расстояния между растениями по мере их роста и т. д.

Этот же принцип часто применяется при выращивании комнатных растений в вазонах. Вазоны в этих случаях состоят из двух частей: наружного декоративного, в котором помещается питательный раствор, и внутреннего, в который сажается растение (рис. 28). Внутренний сосуд должен входить в горловину наружного сосуда больше чем наполовину. Внутренний сосуд сде-

лан либо из сетки, либо из керамики. В последнем случае в нижней части стенок и в дне его делают отверстия диаметром 5—10 мм, через которые прорастают корни, достигающие питательного раствора. Внутренний сосуд, как и рамки, заменяющие крышку у бака, наполняется рыхлым материалом. Вместо круглых отверстий внутренний сосуд может иметь в своих стенках щели шириной в 2—3 мм.

Эта установка, если ее устроить из декоративных ваз, очень изящна, проста и удобна в обращении. Внутренний сосуд с растением легко вынимается и позволяет следить за раствором и ростом корневой системы. В случае, если рост корневой системы надо усилить, внутренний сосуд с рыхлым материалом увлажняется питательным раствором. В остальное время его держат сухим и следят, чтобы питательный раствор в наружном сосуде не касался дна внутреннего сосуда. Расстояние раствора от дна внутреннего сосуда должно быть не менее 3 см.

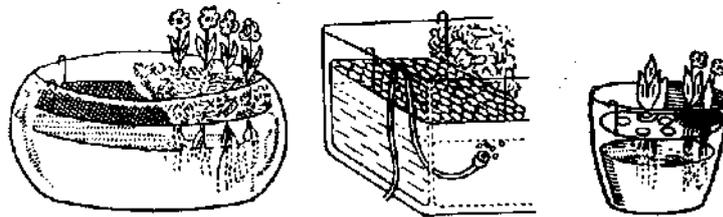


Рис. 27. Сосуды, предназначенные для группового выращивания растений.

Составить красивую и удобную установку можно, пользуясь глиняными горшками, низкими глиняными кувшинами или просто стеклянными консервными банками. Внутрь можно вставлять подобранные по размеру тонкостенные глиняные цветочные горшки или вазочки из пластикатов, в стенках и на дне которых просверлены дырки. Внутренний сосуд можно сделать также из проволочной сетки, вылуженной или покрытой асфальтовым лаком, или из сетки сделать только дно.

Для выращивания растений за окнами можно сколотить по размерам подоконника деревянный ящик. Внутренность ящика выстилается полиэтиленовой пленкой. Можно по размеру ящика сделать вкладыш из кровельного железа, который дважды окрашивается асфальтовым лаком или покрывается горячим асфальтом. В ящик наливается питательный раствор. Слой его обычно не должен превышать 5 см. При выращивании крупных цветов, таких, как бегония, табак, настурция, бархатцы и т. д., на ящик делается деревянная крышка. Крышка распиливается вдоль на две неравные части. При ширине ящика в 20—22 см одна часть крышки шириной в 12—14 см приколачивается намертво. В ней с края делают отверстия, которые укрепляют

растения. Другая часть крышки шириной 7—8 см делается съёмной. С внутренней стороны к ней прибиваются две планки, которые входят внутрь ящика и не дают крышке сдвигаться. Через съёмную часть крышки производится посадка растений, смена питательного раствора и наблюдения за ростом и состоянием корневой системы. Слив раствора из таких ящиков производится с помощью сифона из мягкой резиновой трубки, подлив — из кувшина, чайника, лейки или другой посуды.

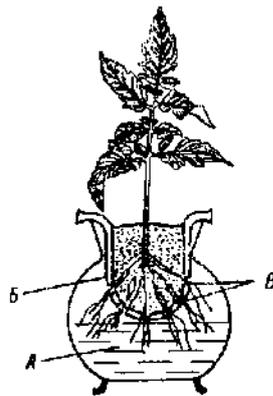


Рис. 28. Двойной сосуд для выращивания комнатных растений.

А — наружный, декоративный сосуд с питательным раствором; Б — внутренний сосуд с высаженным в него растением; В — отверстия в дне сосуда для прорастания корней.

Рассада для ящиков выращивается в горшочках, как и для вазонов. Эти горшочки укрепляются в крышке ящика. Вместо специальных горшочков с дырчатым дном можно выращивать рассаду в мешочках, сшитых из капронового трикотажа. Капроновый трикотаж имеет то неоценимое преимущество, что он не действует на растения, не гниет и всегда имеется в быту.

Мешочки из капронового трикотажа наполняются до верха рыхлыми материалами, лучше всего смесью опилок с торфом в пропорции 3 : 1. Сверху эту смесь засыпают гравием, чтобы предохранить ее от излишнего подсыхания. После того как рассада подрастет, мешочки, как и решетчатые стаканы, укрепляются под крышкой ящика.

Для выращивания мелких растений или при густой посадке крышка становится неудобной, и ее можно заменить рамой, затянутой с одной стороны сеткой или капроновым трикотажем. Эта рама, как и мешочки, наполняется рыхлым материалом, в который высаживаются растения. Чтобы не тревожить растения во время подлива раствора и для удобства наблюдения, решето должно быть короче ящика на 7—8 см. Оставшееся пространство закрывается дощатой крышкой, которую в любой момент можно снять. При выращивании растений в этих установках следует тщательно следить за уровнем питательного раствора. Он ни в коем случае не должен касаться дна решета.

Такие ящики с раствором имеют ряд преимуществ перед землей. В жаркую погоду они не пересыхают и могут быть оставлены без всякого ухода по крайней мере на одну-две недели.

В некоторых странах усиленно рекомендуют любителям пользоваться песчаной культурой растений. Она больше всего похожа на выращивание растений в почве и потому легче может быть освоена. В простейших случаях растения высаживаются в обычный цветочный горшок, который вместо почвы наполняется крупным промытым песком. Горшки устанавливаются на решет-

ку, под которой находится поднос, и поливаются разбавленным питательным раствором (рис. 29). Особых выгод перед почвенной культурой этот метод не имеет и полезен только как начальный этап освоения методов выращивания растений без почвы.

Более интересным является прием выращивания растений без почвы при автоматически совершающемся поливе (рис. 30). Над горшком прикрепляется запасной резервуар с питательным раствором. Его можно изготовить из любой банки, горло которой после наполнения раствором опрокинута в поддонник с тем же раствором. Для того чтобы раствор мог беспрепятственно выте-

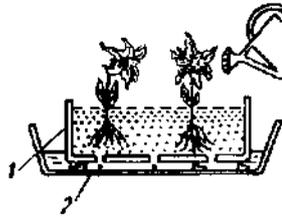


Рис. 29. Схема устройства для выращивания растений в песке. 1 — внутренний сосуд; 2 — поддонник.

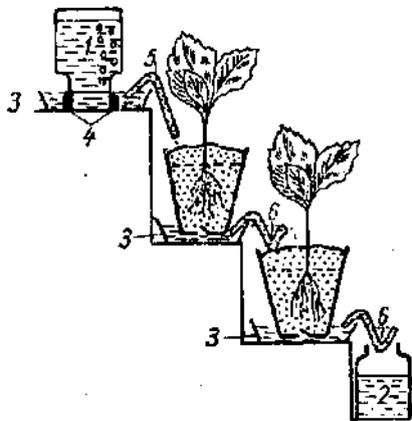


Рис. 30. Схема каскадной установки для выращивания растений в песке при непрерывной подаче раствора.

1 — резервуар для питательного раствора; 2 — резервуар для стекающего раствора; 3 — глубокие поддонники с питательным раствором; 4 — деревянные бруски или куски пробки; 5 — капиллярный сифон, определяющий скорость подачи раствора; 6 — автоматический сифон с постоянным уровнем.

вы S. Из этого сифона вода вылиться полностью не может, и он начинает автоматически сбрасывать избыток раствора, как только уровень его в поддоннике повысится.

Горшки с песком можно поставить на этажерке в несколько рядов один под другим. Избыток раствора, стекающий из верх-

погружается сифон, изогнутый из капиллярной стеклянной трубки. Из этого капиллярного сифона питательный раствор будет непрерывно капать по каплям, до тех пор пока банка не опорожнится. Ширина просвета капилляра определяет скорость вытекания раствора. Она должна быть очень незначительной, перекрывая скорость испарения воды с поверхности растения в 2—3 раза.

Горшок с песком напитывается раствором, а новые порции его, поступаая автоматически из сифона, просачиваются в поддонник и удаляются из него через автоматический сифон с постоянным уровнем. Этот сифон имеет ту особенность, что длинное колено его изогнуто кверху, наподобие буквы S.

него, будет капать в горшок, расположенный ниже и т. д., напо-добие каскада. Такая установка упрощает уход и делает эту систему более выгодной, чем выращивание растений в почве. Запас раствора в верхнем резервуаре должен хватать по меньшей мере на неделю.

Для выращивания растений на балконах и на подоконниках в песчаной культуре можно сделать специальный бак (рис. 31).

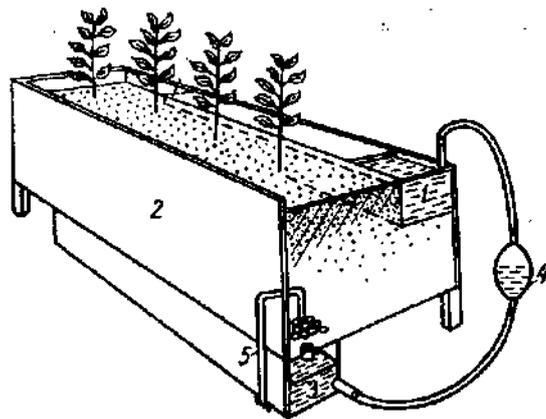


Рис. 31. Бак для выращивания растений на подоконниках и балконах в песке, непрерывно увлажняемом питательным раствором.

1 — верхний резервуар с питательным раствором, имеющий внизу капиллярные отверстия; 2 — бак для растений, наполненный крупным песком; 3 — нижний резервуар для стекающего питательного раствора; 4 — резиновая груша с клапаном для перекачивания питательного раствора; 5 — сифон, ограждающий растение от подтопления.

Бак изготавливается из железа, покрывается каким-нибудь стойким покрытием и наполняется крупным промытым песком. Вверху его в виде полочки расположен резервуар для питательного раствора. В дне резервуара имеются капиллярные отверстия, через которые раствор увлажняет песок. Избыток раствора через дренажную систему стекает в сточный резервуар, расположенный под дном бака. Периодически, примерно раз в неделю, резиновой грушей с клапанами раствор перекачивается из нижнего резервуара в верхний, туда же заливается свежий раствор вместо испарившегося, и бак вновь заряжен для работы на ближайшую неделю. В одну из боковых стенок бака внашивается сифон, который защищает растения от подтопления в случае дождя и засорения дренажной системы бака. Отверстие сифона должно быть тщательно защищено от засорения песком, для чего оно обкладывается крупной галькой.

Можно рекомендовать для любителей и гравийную культуру. В этом случае, как говорилось, выгоднее всего орошать растения снизу. При самом простом устройстве обычный горшок для цветов наполняется гравием, в который высаживаются растения. Горшок ставится в глубокий поддонник, куда наливается питательный раствор.

Можно рекомендовать любителям и выращивание растений в обычных установках, имеющих соответственно небольшие размеры. Основой таких установок также является бак, наполненный гравием, и соединенный с ним, наподобие сообщающихся сосудов, резервуар с питательным раствором. Резервуар с питательным раствором периодически поднимается, и раствор увлажняет гравий. Вместо изменения уровня раствора можно резервуар с раствором сделать герметическим и периодически нагнетать в него компрессором воздух, который вытеснит раствор в бак с растениями. При выключении компрессора раствор сам стечет обратно в резервуар. Можно подавать раствор и маленьким центробежным насосом так же, как это описывалось и для промышленных установок. Совершенно очевидно, что работу компрессора или насоса можно полностью автоматизировать, что представляет большую выгоду в смысле экономии времени.

В остальном различие отдельных установок может зависеть от того, будет ли осуществляться сплошная посадка растений в бак или в него будут ставиться горшки, в которых могут выращиваться разнообразные растения. Для овощных растений выгоднее применять сплошную посадку, как это рекомендовалось в промышленных установках. При выращивании декоративных растений, если они не предназначаются на срезку, выгоднее их выращивать в горшках. Растут растения в таких установках прекрасно. Горшки в любой момент могут быть перенесены в комнату на глубокие поддонники, наполненные питательным раствором.

При выращивании декоративных растений любители не должны ограничиваться описанными установками. Можно применять и другие оригинальные приемы, наподобие тех, которые используются для приготовления фигурных клумб или так называемой цветочной скульптуры. Так, для украшения домов в Швейцарии широко применяется метод, который называется моховой стеной. Этот метод был впервые освоен в Африке для выращивания томатов и других овощей в городских условиях, а затем привнес в Швейцарию и используется там для декоративных целей. При сравнительно небольшой затрате этим способом можно украсить стены домов, крыши ресторанов и кафе, перила балконов. Само название говорит, что основным субстратом, в котором развиваются растения, является мох. Благодаря большой влагоемкости он хорошо удерживает питательный раствор, вследствие чего полив растущих на нем растений может производиться не чаще одного раза в неделю.

Для устройства моховой стены берут обычно доску до 3 см толщины, длиной — в 1 м и шириной — в 20—25 см. К углам доски прибивают рейки до 1 м высотой, к которым прикрепляется сетка с ячейками в 50—70 мм. Полученная таким образом сетчатая коробка набивается мхом. Наиболее благоприятной является смесь мха с фрезерным торфом и глиной. Последняя применяется в количестве 2,5%. Если в распоряжении имеется лишь мох, то его предварительно убивают — просушивают на солнце. Перед набивкой торф или смесь размельчается. На 1 м<sup>3</sup> ее добавляют 1—2 кг питательной смеси солей. Наполненная мхом стенка устанавливается вертикально на предназначенное место и засаживается цветочной рассадой.

Чтобы защитить растения от дождя, который может чрезмерно увлажнить мох, препятствуя свободному доступу воздуха к корням, над стенкой устраивают защитный козырек шириной не менее 25 см и длиной, соответствующей размерам моховой стенки. При устройстве стенок нужно придерживаться также следующих правил: ее не следует делать больших размеров, так как это сильно ее утяжелит. Слишком тонкая стенка также не годится потому, что будет быстро подсыхать (см. табл. 12).

Таблица 12

Устройство вертикальных стенок для выращивания растений

Размер стены			Объем (в л)	Кол- чество мха (в кг)	Пример- ное коли- чество растений (в шт.)	Потребность в воде (в л)	
Высота (в см)	Ширина (в см)	Глубина (в см)				в неделю	за сезон
80	50	20	80	32—40	38	4	80
80	80	20	128	51—64	61	6,2	128
60	100	25	200	80—100	140	10	200

Вместо моховых стен подобным же образом могут быть устроены и так называемые вертикальные грядки для овощей, которые можно расположить на дворе дома при остром недостатке свободной площади. Такое устройство позволяет иметь на 1 м<sup>2</sup> до 6 м<sup>2</sup> освещенной поверхности (рис. 32).

Фактически такие вертикальные грядки будут представлять собой поставленные четырехугольником моховые стенки. Можно вертикальную грядку составить из плоских сетчатых ящиков, набитых торфяным мхом или соответствующей смесью. Ящики в этом случае ставят один над другим, оставляя между ними просветы в 10 см для облегчения доступа воздуха к корням.

Вертикальные грядки могут быть устроены в виде этажерки, состоящей из поставленных одно над другим водонепроницаемых

железных или деревянных просмоленных корыт. Такая любительская установка, представленная на рис. 32, состоит из четырех деревянных корыт, поставленных на общей разборной стойке. Корыта заполнены мхом, торфом и песком, расположенными слоями, на дне корыта насыпан гравий. Можно, конечно, наполнение корыт упростить, заполнив их промытым крупным песком. Края корыт оставлены свободными и отгорожены сетчатой пере-

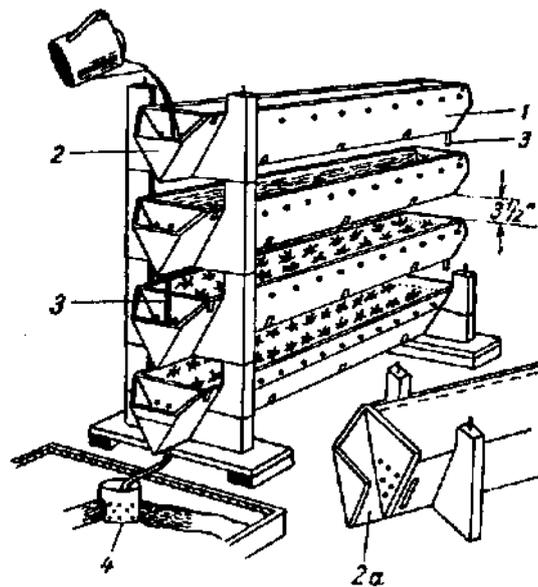


Рис. 32. Вертикальная этажерка для выращивания растений в песке или торфе.

1 — ящики для растений с отверстиями для аэрации корней; 2 — выступ ящика с отверстиями для полива растений; 2а — деталь выступа; 3 — сливные трубки; 4 — сточный резервуар.

городкой. С одной стороны в подобный отсек поступает вода или питательный раствор, а с противоположного конца избыток раствора, пропитавшего песок, будет собираться и поступать в корыто, расположенное ниже. Стекающий из последнего корыта раствор можно использовать повторно или израсходовать на поливку гряд. Размеры корыта  $30 \times 180$  см, глубина 20—25 см. Прорез между корытами должен быть оставлен в 10 см. Установка называлась автоматическим солнечным садом, и в ней выращивалась земляника. В каждое корыто было посажено по 25 растений.

Вот основные приемы, которые могут использовать в своей работе любители. Мы подробно остановились на их описании для того, чтобы желающие могли выбрать то, что их интересует.

и приобщиться к весьма интересному и увлекательному делу выращивания растений без почвы.

Так как у нас пока не выпускают специальных смесей для приготовления питательных растворов, любителям следует приготовить сухую смесь питательных солей самому, хорошенько ее растереть в ступке и смешать. Начинаящим можно рекомендовать такую смесь: 1 кг калийной селитры, 700 г суперфосфата, 250 г сульфата магния и 200 г сульфата аммония. Сульфат магния можно приобрести в аптеке; все остальные соли продаются в обычных химических магазинах (Главхимсбыт).

Тщательно измельченную и перемешанную смесь сохраняют в закрытой банке в сухом месте. Для приготовления 10 л питательного раствора берут такое количество смеси, которое помещается в спичечном коробке. Кроме того, к раствору нужно добавить небольшое количество торфа в размере 2—3 спичечных коробков. Торф выравнивает кислотность раствора, адсорбирует вредные вещества. Находящееся в торфе железо хорошо усваивается растением и предохраняет его от хлороза.

Для выращивания растений можно, конечно, пользоваться и другими растворами, приведенными в третьей главе, часть которых испытана при культуре отдельных видов декоративных растений.

## ГЛАВА VIII

### КОНТРОЛЬ ЗА УСЛОВИЯМИ РОСТА РАСТЕНИЙ ПО ХИМИЧЕСКИМ АНАЛИЗАМ И ВНЕШНЕМУ ВИДУ РАСТЕНИЙ

При выращивании растений в песчаной, гравийной и особенно в водной культуре необходим строгий контроль за условиями роста растений. Изменения кислотности раствора, его состава и концентрации могут привести к ухудшению роста растений и даже к их гибели.

Контроль условий роста может осуществляться: 1) по составу питательного раствора (этот метод позволяет наиболее тонко регулировать условия питания растений); 2) химическому анализу растений и 3) внешнему виду растений. Остановимся отдельно на каждом из способов контроля.

#### КОНТРОЛЬ ЗА СОСТАВОМ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Изменения питательного раствора по мере роста растений происходят по следующим причинам.

1. Анионы и катионы солей поглощаются с неравной скоростью, в результате раствор подкисляется или подщелачивается. При подщелачивании раствора некоторые питательные элементы, например фосфор и железо, частично кальций и магний, выпадают в осадок и становятся трудно доступными для растений. За кислотностью раствора необходимо тщательно следить и ее исправлять.

2. Поглощение корнем из питательного раствора воды, расходуемой главным образом на транспирацию, и питательных солей также происходит неравномерно. В жаркую солнечную погоду расходуется больше воды, и раствор становится более концентрированным; в пасмурную погоду, наоборот, соли из раствора поглощаются быстрее, чем вода, и питательный раствор разбавляется.

Относительная скорость поглощения воды и солей зависит также от возраста растений. Молодые, быстро растущие расте-

ния поглощают относительно много солей, старое растение — относительно больше воды. Возрастает поглощение солей и при массовом плодоношении. За концентрацией питательного раствора также необходимо следить и ее выравнивать. При недостатке солей ослабится рост растений, при сильном засолении растения начнут завядать и гибнуть.

3. Неравномерно происходит и поглощение из раствора отдельных питательных элементов. Это связано прежде всего с характером роста растений. Молодые растения относительно больше поглощают азота, магния и фосфора, старые растения поглощают много кальция. При наливе клубней и образовании плодов растению требуется много калия и т. д.

При приготовлении раствора все эти особенности питания учесть трудно, особенно в том случае, если на одном и том же питательном растворе растут различные растения. Для исправления этого недостатка необходимо периодически производить подробный анализ питательного раствора на содержание в нем отдельных питательных элементов и затем добавкой воды и отдельных солей выравнивать его состав. При таком режиме, обладая свойством избирательности при поглощении отдельных питательных элементов, растения будут поглощать из раствора все необходимые им вещества.

Итак, для успешного выращивания растений без почвы на искусственных субстратах, увлажняемых питательным раствором, необходимо наладить контроль за составом питательного раствора. Характер этого контроля будет зависеть от системы и размеров установки.

При однократном использовании растворов, которыми поливают растения, растущие в негерметизированном оборудовании, например при Бенгальском методе выращивания растений, необходимо следить только за правильностью приготовления питательного раствора и за подкислением его до нужного значения pH.

В любительских и мелких производственных установках, многократно использующих один и тот же питательный раствор, необходимо постоянно следить за pH раствора и по мере надобности, но не реже одного раза в неделю исправлять кислотность раствора. В остальном при добавлении свежего раствора достаточно придерживаться следующего правила: в солнечную погоду вместо испарившегося раствора добавлять раствор половинной концентрации; в пасмурную погоду — обычной концентрации. По мере старения растений также следует концентрацию питательного раствора постепенно уменьшать. Наконец, для предотвращения резкого изменения состава раствора раз в 10 дней часть старого раствора, примерно  $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{10}$  объема, следует сливать в канализацию и замесить его свежеприготовленным. Этих правил вполне достаточно для нормального ведения хозяйства.

В крупных хозяйствах с централизованным снабжением растущих растений питательным раствором контроль за его составом должен быть достаточно точным. Наряду с обязательным определением рН раствора и его ежедневным доведением до нужной нормы необходимо также тщательно следить за концентрацией питательного раствора и учитывать данные анализа при каждом очередном приготовлении новых порций его. Необходимо также не реже 1—2 раз в неделю производить полный анализ питательного раствора по главнейшим элементам и на основании анализов исправлять его состав.

Перед взятием пробы для анализа следует тщательно перемешать содержимое бака и измерить объем содержащегося в нем раствора.

Для перемешивания содержимого небольшого бака достаточно иметь деревянное весло. Перемешивание производится в этом случае вручную. При большом объеме бака перемешивание производится с помощью барбатера — погруженной в раствор перфорированной трубки, в отверстия которой нагнетается воздух, или центробежным насосом, перекачивающим содержимое бака из одного конца в другой. Крупные установки полезно оснастить обеими системами перемешивания.

Измерение объема раствора производится с помощью мерной линейки, прямым отсчетом или поплавком. Зная поверхность бака, можно заранее рассчитать, какому объему будет соответствовать одно деление шкалы (если бак имеет прямоугольную форму). Можно калибровать, а в некоторых случаях и измерять объем раствора или прилитой в бак воды с помощью водомера. Этот прибор должен быть обязательно вмонтирован в трубопроводах бака.

Для определения содержания питательных веществ в растворе в состоянии необходимо пробу брать, не взмучивая раствор (после тщательного перемешивания надо дать раствору отстояться). Для определения общего содержания необходимо тщательнейшим образом взмутить и перемешать раствор и немедленно взять пробы (не менее трех) из разных мест бака.

Если полный анализ проб нельзя провести в день взятия, то необходимо законсервировать их, добавив тимола или несколько капель толуола (о методах анализа основных питательных веществ в растворах см. в гл. IX).

#### **КОНТРОЛЬ ЗА УСЛОВИЯМИ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ ПО ХИМИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ИХ СОКА**

О достаточном снабжении растений питательными веществами можно судить не только по анализу питательных растворов, но и по анализам растений. При уменьшении снабжения растений тем или иным питательным веществом сначала внешне не наблюдается никаких признаков голодания, однако содержащее

данного вещества может резко снизиться. Если растение получало в качестве источника азота нитраты, а затем содержание нитратов в растворе резко снизилось, то содержание нитратов в черешках, соке листьев и т. д. резко снизится. При этом общее содержание азота изменится не сильно (в первые дни). Поэтому необходимо проводить анализ именно нитратного азота, причем в тех частях растения, в которых нитратный азот исчезает прежде всего, целесообразнее делать анализы сока черешков листьев средних ярусов. Следует отметить в то же время, что у ряда растений, даже при хорошем питании нитратным азотом, он настолько быстро превращается в корнях в другие формы азота, что в надземной части может не обнаружиться. В таких случаях можно анализировать на нитраты сок, отжатый из корня.

При недостатке фосфора прежде всего уменьшается содержание его в нижних и средних частях растений, причем наиболее резко падает содержание фосфора в соке растений, где он является запасной формой.

Поэтому о степени обеспеченности растений фосфором судят по содержанию неорганического фосфора в соке растений; для анализов берут листья или черешки средних или нижних ярусов растений.

Эти же части растений берут и для анализов на обеспеченность растений калием.

Упрощенные методы анализа сока для определения обеспеченности растений питательными веществами разработаны К. П. Магницким. Им создана «полевая походная лаборатория», называемая сумкой Магницкого. К «лаборатории» приложена краткая инструкция по методам анализа, употребляемым для быстрого определения содержания питательных веществ в соке.

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕДОСТАТКА ИЛИ ИЗБЫТКА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСТЕНИЯХ ПО ВНЕШНИМ ПРИЗНАКАМ**

Как указывалось выше, при недостатке питательных веществ в среде, окружающей корень, начинает снижаться содержание этих веществ в растении. При недостатке азота, фосфора и калия из старых частей растения эти вещества начинают передвигаться в молодые, в результате чего внешние признаки голодания, которые поступают под влиянием измененного обмена веществ, проявляются в старых частях растений, а затем распространяются на листья средних ярусов. При недостатке других элементов питания, которые с трудом или совсем не могут использоваться вторично, признаки голодания наступают в верхних частях растения. Это в особенности относится к кальцию и сере.

В водных и гравийных культурах с растворами, приготовленными на водопроводной воде, могут наблюдаться признаки недостатка азота, фосфора и калия, значительно реже наблюдаются признаки недостатка магния, серы, кальция и микроэлементов.

При сдвиге рН в щелочную сторону могут наблюдаться признаки недостатка железа, так как железо выпадает в осадок.

Приведем ключ, который может служить для распознавания симптомов недостатка отдельных питательных веществ. Для разных культур эти симптомы могут проявляться в различной степени и могут несколько варьировать, особенно когда сочетается недостаток двух элементов.

**Симптомы недостатка питательных веществ в растениях**  
(по Эллису и Сваней, 1955)

	Недостающий элемент питания
1. Симптомы голодания проявляются во взрослых листьях.	
1. Повреждение распространено по всему растению.	
а) Растения чахлые, светло-зеленые, цвет более старых листьев желто-зеленый до желтого, на более поздних стадиях листья высыхают и становятся коричневыми.	Азот
б) Растения чахлые, ненормально темно-зеленые, обычно с черенками, прикрепленными под острым углом, часто наблюдается красноватая или пурпурная пигментация, иногда у более старых листьев наступает хлороз.	Фосфор
2. Повреждение местное (на листьях появляются пятна).	
а) На концах и краях более старых листьев начинается хлороз (побледнение листьев в результате разрушения хлорофилла). Хлороз распространяется между жилками и сопровождается образованием коричневых пятен с последующим выпадением тканей, вследствие чего листья кажутся разорванными; листья искривлены и скручены, что наиболее резко выражено на ранних стадиях.	Калий
б) Хлороз начинается между жилками более старых или листьев средних ярусов, листья становятся желтыми или почти белыми, но жилки обычно остаются зелеными; отмирания листьев не наблюдается.	Магний
II. Симптомы голодания проявляются на молодых листьях.	
1. Повреждение распространено по всему растению.	
Все растение светло-зеленого или желтовато-зеленого цвета. Верхние листья наиболее хлоротичны.	Сера
2. Повреждение местное.	
А. Ткань с некрозами (мертвыми участками).	
а) Хлороз начинается между жилками молодых листьев; листья становятся желтыми или белыми; все жилки остаются зелеными, хлороз сопровождается появлением небольших коричневых некротических пятен.	Марганец
б) Хлороз начинается с основания и краев молодых листьев, за ним следует некроз; листья искривляются, а при более сильном голодании отмирают верхушечные почки, они чернеют, ослизняются.	Бор

- |   |         |
|---|---------|
| в) Хлороз верхних листьев (не пожелтение, а побеление), верхушечные почки отмирают и приобретают коричневый или черный цвет, корни короткие, утолщенные, ослизневшие. | Кальций |
| Б. Ткань не некротическая.  |         |
| а) Хлороз начинается между жилками молодых листьев, жилки сначала остаются зелеными, а потом весь лист желтеет или белеет.  | Железо  |
| б) У растений наблюдается увядание верхушек, у молодых листьев можно наблюдать хлороз.  | Медь    |

В условиях водных, песчаных и гравийных культур недостаток питательных веществ при довольно частых сменах раствора не проявляется. Иногда могут проявиться лишь признаки недостатка азота или железа. Зато при добавлении в питательный раствор новой порции солей, а не полной смене всего раствора, некоторые вещества, поглощаемые растениями в относительно небольших количествах, могут скапливаться в значительных концентрациях и оказывать токсическое действие — ион сульфата, хлора, магния и некоторые другие катионы и анионы.

В таком случае в растениях могут проявляться признаки избытка ионов, симптомы отравления растений. Однако симптомы минерального отравления пока изучены не полностью.

**Симптомы минерального отравления растений**  
(по Эллису и Сваней, 1955)

- |   | Элемент, находящийся в избытке |
|---|--------------------------------|
| I. Первые признаки поражения появляются на взрослых листьях.  |                                |
| 1. Повреждение распространено по всему растению.  |                                |
| А. Ткань некротическая.   |                                |
| а) Листья слегка темнеют и немного уменьшаются; иногда наблюдается некормальное свертывание и сморщивание молодых листьев; на поздних стадиях роста концы листьев втянуты и отмирают, особенно при ясной погоде.  | Магний                         |
| б) Общее пожелтение листьев; концы и край более старых листьев позднее становятся желтоватыми или коричневыми, это сопровождается появлением ярких некротических пятен; происходит падение листьев; у некоторых растений сходно с калийным голоданием, у других — с избытком азота. | Фосфор                         |
| Б. Ткань не некротическая   |                                |
| а) Общее огрубение растения, листья маленькие, тускло-зеленые, стебли твердые; у некоторых растений на более старых листьях появляются пурпурно-коричневые пятна, что сопровождается опадением листьев.   | Хлор                           |
| б) Общее огрубение растений, листья маленькие синевато-зеленого цвета, стебли твердые; позднее листья могут скручиваться внутрь и покрываться наростами, края листьев становятся коричневыми, затем бледно-желтыми.   | Сульфат                        |

- и) На ранних стадиях наблюдается слабый рост, удлинение междоузлий, светло-зеленая окраска листьев; на поздних стадиях рост замедляется, у листьев появляется пятнистость, похожая на мозаику, затем появляются матовые пятна, листья вянут и опадают. Кальций
- 2. Повреждение местное.**
- Ткань некротическая.
- а) Хлороз развивается на краях листьев и распространяется между жилками, сопровождаясь коричневым некрозом и свертыванием концов листьев; опадение листьев (повреждение сходно у многих растений с калийным голоданием). Азот аммонийный и азот нитратный
- б) Хлороз развивается между жилками, пятна становятся беловатыми и некротическими, могут стать окрашенными или на них могут появляться наполненные водой концентрические кольца; у некоторых растений происходит рост листовых розеток и побеги отмирают, теряя листья (по повреждению сходно с недостатком магния у одних и с недостатком железа у других растений). Кальций
- в) Хлороз концов и краев листьев; хлороз распространяется внутрь, особенно между жилками, пока весь лист не станет бледно-желтым или беловатым, ожоги краев листьев и некроз с закручиванием краев; опадение листьев. Бор
- г) У некоторых растений вдоль основных жилок, остающихся зелеными, появляются участки, наполненные водой, эти участки становятся прозрачными; развивается также хлороз между жилками, позднее появляется коричневое окрашивание, и, когда весь лист становится коричневым, он опадает. Цинк
- д) Хлороз нижних листьев, сопровождающийся коричневыми пятнами, затем опадение листьев. Медь
- II. Первые признаки повреждения молодых листьев**
- I. Повреждение распространено по всему растению.**
- Ткань некротическая.
- а) Хлороз листьев, молодые листья становятся совершенно желтыми; верхушечные почки отмирают, более старые листья также могут отпасть без увядания, жилки окрашиваются в красный или черный цвет, листья опадают (на ранних стадиях повреждение сходно с недостатком железа). Цинк
- 2. Повреждение местное.**
- A. Ткань некротическая.**
- Хлороз развивается между жилками молодых листьев, которые становятся желтыми или беловатыми с темно-коричневыми или почти белыми некротическими пятнами; лист искривляется и сморщивается, в этом основное отличие от голодания. Марганец

В. Ткань не некротическая.

- а) Хлороз развивается между жилками молодых листьев, жилки остаются зелеными, позднее весь лист становится желтым или беловатым, сходно с голоданием. Железо
- б) Хлороз молодых листьев, жилки остаются зелеными. Медь

В практических условиях часто избыток одного иона вызывает у растения развитие симптомов, сходных с симптомами недостаточности другого иона. Химический анализ поможет выяснить настоящую причину.

Если анализа произвести невозможно, то нужно тщательно промыть гравий водой и приготовить свежий раствор. Если симптомы через несколько дней исчезнут, следовательно, растения действительно испытывали токсикоз от избытка того или другого иона.

---

## ГЛАВА IX

### МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПИТАТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ

Методы анализа, которые мы рекомендуем, применяются при анализе природных вод (Резников и Муликовская, 1959) и при анализе почвенных вытяжек (Соколов, Аскинази и Сердобольский (ред.), 1954; Петербургский, 1959) и будут полезны в любом теплично-парниковом хозяйстве или овощном совхозе. Часть описанных методов может быть применена и для анализа золь растений.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Определение общей концентрации питательного раствора обычно производят по весу сухого остатка после выпаривания определенного количества его. Значительно быстрее можно определять концентрацию раствора, поскольку он состоит из электролитов, кондуктометрически измеряя его электропроводность.

#### Определение концентрации раствора по сухому остатку

Принцип метода. Прямое взвешивание остатка, полученного выпариванием раствора, дает неточные результаты благодаря гидролизу и гигроскопичности хлоридов магния и кальция и трудной отдачи кристаллизационной воды сульфатами магния и кальция. Данные получаются ввиду этого завышенными. Поэтому лучше в питательный раствор сначала добавлять соду для перевода соединений кальция и магния в углекислые соли, а затем уже проводить выпаривание и высушивание сухого остатка до постоянного веса.

Ход анализа. 50 мл питательного раствора помещают во взвешенную фарфоровую выпаривательную чашку, добавляют точно 2 мл 10% раствора соды, выпаривают на водяной бане досуха, а затем выдерживают в сушильном шкафу при температуре 120° в течение 2—3 часов. Чашку с осадком взвешивают,

суха сушат 30 мин., доводят до постоянного веса (с точностью до 1 мг). Одновременно в другой чашке производят холостое определение. Для этого выпаривают 2 мл того же 10% раствора соды и остаток также доводят до постоянного веса.

Расчет сухого остатка ( $x$ ) ведется по следующей формуле:

$$x = \frac{(B - B_1) \cdot 1000}{A} \text{ мг/л,}$$

где  $A$  — объем раствора (в мл), взятый в анализ;  $B$  — вес осадка испытуемого раствора (в мг);  $B_1$  — вес осадка соды (в мг).

Значительно быстрее определение сухого остатка можно произвести, если раствор упаривать под инфракрасной лампой. При этом вода, поглощая инфракрасные лучи, быстро разогревается и испаряется.

#### Определение концентрации раствора по его электропроводности

Принцип метода. В ряде случаев при беспочвенном выращивании растений необходимо очень быстро определить концентрацию раствора. Лучшим методом для определения общей концентрации раствора является весовой метод. Но весовой метод, хотя прост и точен, довольно продолжителен по времени его выполнения. Для быстрых приблизительных определений можно определять концентрацию раствора по его электропроводности.

Метод определения концентрации раствора по его электропроводности основан на том, что в отличие от чистой воды растворы электролитов способны проводить электрический ток. Величина электропроводности (обратная сопротивлению раствора) зависит прежде всего от концентрации раствора. Она зависит также от степени диссоциации электролита при данном разведении и от активности ионов электролита.

Электропроводность очень сильно меняется с изменением температуры — при повышении температуры на 1° она повышается на 2—2,5%. Поэтому определение электропроводности следует проводить при термостатировании сосуда для определения электропроводности.

Но и при термостатировании не наблюдается строгой пропорциональности между концентрацией раствора нескольких солей и его электропроводностью, так как поглощение отдельных солей растениями происходит неравномерно, а активность разных ионов неодинакова и при изменении концентрации меняется по-разному. Тем не менее для экспресс-определений, где не требуется особой точности, этот метод может быть использован.

Определение электропроводности можно провести по методу Кольрауша. Если ток пропустить по двум ветвям  $ABC$  и  $ADC$  (рис. 33), сходящимся в одной точке, то при равенстве потенциалов в точке  $B$  одной ветви и точке  $D$  другой ветви  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ , и если три сопротивления известны, можно легко найти четвертое.

По этой схеме и проводится определение. В качестве одной из ветвей тока берут реохорд-линейку длиной 1 м, разделенную на миллиметры, с натянутой туго константановой (или манганиковой) проволокой и движком, соединенным с индикаторным инструментом (телефоном).

В качестве третьего сопротивления берут магазин сопротивлений до 100 000 ом ( $R_m$ ). Четвертое сопротивление ( $R_x$ ) — сосудик с раствором, электропроводность которого должна быть измерена (рис. 34). Источником тока является звуковой генератор ЗГ-10 или другой преобразователь тока до звуковых частот, включающийся в сеть. Сосудик с платиновыми платинированными электродами (описание сосуда см. Воробьев, Гольцшmidt и Карапетьянц, 1952, или любой другой практикum по физической химии) помещается в водяной термостат с ртутным терморегулятором (или ультратермостат).

В качестве индикаторного инструмента для определения, при каком положении движка на реохорде наступает равенство напряжений в точках В и Д, употребляется низкоомный телефон. При равенстве напряжений звучание в наушниках оказывается наименьшим, при сдвиге движка звук усиливается.

При наименьшем звучании в наушнике  $\frac{R_x}{R_m} = \frac{l_1}{l_2}$ , где  $l_1, l_2$  — отрезки на линейке (в мм) от концов линейки до движка.

Ход анализа. При измерении концентрации раствора по его электропроводности необходимо определить константу сосуда и затем составить график зависимости электропроводности от концентрации раствора. Если эти величины определены, то измерение электропроводности испытуемого раствора производится очень быстро.

а) *Определение константы сосуда.* Прежде всего необходимо определить константу сосуда по известному раствору, например точно приготовленному 1/50 н. раствору хлористого калия. Для определения константы сосуда в него наливают 20 мл 1/50 н. раствора хлористого калия. Сосудик с раствором помещают в термостатную ванночку при 25° С, выдерживают при этой температуре 15 мин и начинают определение, подключив сосудик к собранной схеме (рис. 34). Звуковой генератор включают за 15 мин до начала работы.

Движок на реохорде устанавливают в такое положение.

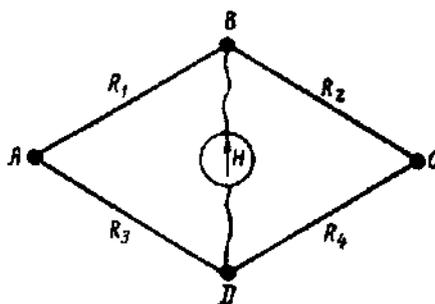


Рис. 33. Схема моста компенсации.  $R_1, R_2, R_3, R_4$  — сопротивления; ABC и ADC — две ветви тока; H — нуль-инструмент.

чтобы звук в телефоне был минимальным. При этом подбирают такое сопротивление в магазине сопротивлений, чтобы минимальное звучание в наушниках было бы где-то в середине шкалы ливейки. Определения повторяют 2—3 раза с несколько отличающимися сопротивлениями магазина.

Сопротивление 1/50 н. раствора хлористого калия ( $R$ ) находят из пропорции

$$\frac{R}{R_m} = \frac{l_1}{l_2}, \text{ и } R = \frac{R_m \cdot l_1}{l_2},$$

где  $R_m$  — сопротивление магазина сопротивлений;  $l_1, l_2$  — отсчет по положению движка на реохорде.

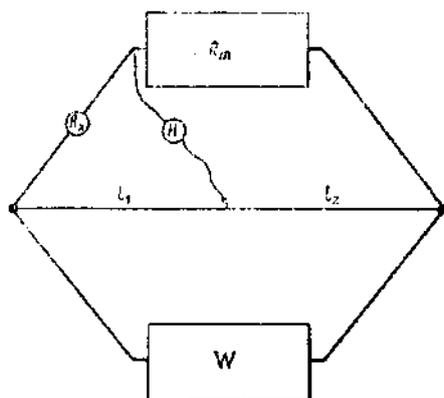


Рис. 34. Схема установки для определения электропроводности.  
 $R_x$  — сосудик для определения электропроводности;  
 $R_m$  — магазин сопротивлений;  $l_1, l_2$  — реохорд,  $W$  — источник тока;  $H$  — наушник.

Измеряют сопротивление питательного раствора, затем разбавляют его в 2, 4, 8, 16 раз и каждый раз измеряют его сопротивление.

Расчет удельной электропроводности питательного раствора и каждого его разбавления ведут по формуле:

$$\kappa = \frac{K}{R_{\text{нск}}}, \text{ т. е. } \kappa = \frac{K \cdot l_2}{R_m \cdot l_1}.$$

Результаты выражают в виде графика, где на оси ординат откладывают значения удельной электропроводности, а на оси абсцисс — концентрацию раствора.

в) *Проведение определения.* В сосудик наливают 20 мл питательного раствора и определяют электропроводность его. По калибровочной кривой находят концентрацию раствора, которой соответствует эта электропроводность.

Расчет константы сосуда ведется по формуле:

$$K = \kappa R \text{ см}^{-1},$$

где  $K$  — константа сосуда;  $\kappa$  — удельная электропроводность 1/50 н. раствора KCl, равная 0,002767 при 25° С (найдена по таблицам удельной электропроводности).

б) *Построение калибровочной кривой.* Калибровочную кривую строят, беря за основу полный питательный раствор обычной концентрации. 20 мл питательного раствора наливают в сосудик для определения электропроводности.

Следует помнить, что определение очень приблизительно, если раствор уже пропускался через растения, так как отдельные ионы поглощаются неравномерно, а шкала рассчитана лишь на разбавление раствора.

Определение концентрации питательного раствора можно вести с помощью специальных приборов — солемеров, например солемера, рекомендованного для определения солесодержания почв и грунтов (Берлинер и Долгополов, 1954). Необходимо при пользовании солемером проградуировать его по питательному раствору в разных разведениях.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ pH ВОДЫ И ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Методов определения pH существует довольно много. Главнейшими из них являются колориметрический и потенциометрический.

Наиболее простым, достаточно точным и удобным для производственных целей является колориметрический метод определения pH. Он основан на способности некоторых красителей — индикаторов изменять свой цвет в зависимости от реакции (кислотности) среды.

#### Определение pH по Алямовскому

Из колориметрических методов, позволяющих определить pH воды или питательного раствора, наиболее удобным является метод Алямовского, в котором цвет индикатора, прилитого к воде или раствору, сравнивается с искусственной цветной шкалой, приготовленной в пробирках (или из окрашенной целлюлозной пленки).

**Ход анализа.** В пробирку берут 5 мл питательного раствора, приливают 6 капель смешанного индикатора (реактив 1) и сравнивают окраску с окраской цветной шкалы (реактив 2). В стандартной шкале подбирают пробирку, наиболее подходящую по цвету к окраске испытуемой жидкости.

#### Реактивы.

1. Смешанный индикатор (не путать со смешанным индикатором для определения азота!):

а) метил красный; 0,05 г сухого индикатора растирают в агатовой или яшмовой ступке с небольшим количеством этилового спирта. Переносят реактив в стаканчик и доводят спиртом до 50 мл. Далее туда же добавляют 3,7 мл 0,05 н. раствора едкого натра. Раствор переносят в мерную колбу на 250 мл и доводят до метки дистиллированной водой;

б) бромтимоловый синий; 0,2 г сухого индикатора растворяют в 104 мл этилового спирта и прибавляют туда же 6,4 мл 0,05 н. раствора едкого натра. Весь раствор переносят в мерную колбу на 500 мл и доводят до черты дистиллированной водой.

Смешивают одну часть раствора метила красного с двумя частями бромтимолового синего и получают смешанный индикатор. Все растворы хранятся в темных склянках. Смешанный индикатор в больших количествах не готовят. Смешанный индикатор позволяет вести определение рН в пределах от 4 до 8.

2. Стандартные растворы для шкалы.

а) хлористый кобальт ( $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) — 59,5 г в 1 л 1% соляной кислоты;

б) хлорное железо ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) — 45,05 г в 1 л 1% соляной кислоты;

в) хлорная медь ( $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) — 400 г в 1 л 1% соляной кислоты;

г) сернокислая медь ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) — 200 г в 1 л 1% серной кислоты.

Эти растворы смешивают в пробирках в пропорциях, указанных в табл. 13.

Таблица 13

Приготовление искусственной стандартной шкалы рН по Алямовскому (в мл)

рН	$\text{CoCl}_2$	$\text{FeCl}_3$	$\text{CuCl}_2$	$\text{CuSO}_4$	$\text{H}_2\text{O}$
4,0	9,60	0,30	—	—	0,10
4,2	9,15	0,45	—	—	0,40
4,4	8,05	0,65	—	—	1,30
4,6	7,25	0,90	—	—	1,85
4,8	6,05	1,50	—	—	2,45
5,0	5,25	2,80	—	—	1,95
5,2	3,85	4,00	—	—	2,15
5,4	2,60	4,70	—	—	2,70
5,6	1,65	5,55	—	—	2,80
5,8	1,35	5,85	0,05	—	2,75
6,0	1,30	5,50	0,15	—	3,05
6,2	1,40	5,50	0,25	—	2,65
6,4	1,40	5,00	0,40	—	3,20
6,6	1,40	4,20	0,70	—	3,70
6,8	1,90	3,05	1,00	0,40	3,65
7,0	1,90	2,50	1,15	1,05	3,40
7,2	2,10	1,80	1,75	1,10	3,25
7,4	2,20	1,60	1,80	1,90	2,50
7,6	2,20	1,10	2,25	2,20	2,25
7,8	2,20	1,05	2,20	3,10	1,45
8,0	2,20	1,00	2,10	4,00	0,70

Примечание: 1. Приготовив цветную шкалу, следует проверить ее правильность по буферным растворам. Для этого в специально приготовленные буферные растворы (например, фосфатные) с различными рН прибавляют смешанный индикатор и проверяют, совпадает ли оттенок его с цветом искусственной шкалы, соответствующей данному буферу по рН. Если оттенок отличается, то его подгоняют, добавляя несколько капель одного из исходных растворов.

2. Цветную шкалу можно приготовить из целлулоидной пленки (см. подготовку пленки для определения фосфора). Пейне и другие (1954) рекомендуют следующий метод окраски пленки: берут красную, желтую, зеленую и синюю тушь в разных разбавлениях и окрашивают ею кусочки пленки. В результате получается серия пленок, окрашенных в различные цвета с разной интенсивностью, часть которых соответствует шкале Алямовского. Для составления промежуточных градаций, соответствующих переходу от красного к желтому и от зеленого к сине-зеленому цвету, складывают попарно отдельные пластинки, окрашенные в разные цвета.

3. В настоящее время промышленность выпускает готовые приборы для определения pH по методу Алямовского.

### Приведение pH питательного раствора к заданному значению

В практике беспочвенной культуры важно не только определить pH раствора, но и довести его до определенного оптимального значения. Чаще всего pH питательных растворов доводят до 5,6. Доводить pH можно постепенно, определяя pH колориметрически и доливая понемногу крепкого раствора кислоты или щелочи, причем после каждого приливания необходимо вновь проверять pH. Быстрее можно доводить pH до заданного значения по расчету, хотя и в данном случае, после добавления кислоты или щелочи, необходимо проверить правильность расчета путем определения pH.

Для определения количества кислоты или щелочи, которые необходимо добавить для приведения pH раствора к 5,6, 100 мл питательного раствора наливают в коническую колбу на 200 мл, приливают 25 капель смешанного индикатора (реактив I по Алямовскому) и титруют 0,02 н. раствором серной кислоты, если раствор имеет pH больше, чем 5,6, или 0,02 н. раствором щелочи, если pH сдвинуто в кислую сторону. Конец титрования определяют, сравнивая цвет раствора с цветом буферного раствора (pH = 5,6; реактив I), налитого в колбу на 500 мл с таким же количеством смешанного индикатора.

Раствор, соответствующий по окраске pH = 5,6, можно приготовить по прописи Алямовского из растворов хлористого кобальта и хлорного железа.

Расчет количества кислоты, необходимого для доведения раствора до pH = 5,6. Например, на 100 мл питательного раствора для доведения его до pH = 5,6 по смешанному индикатору потребовалось 10 мл 0,02 н. раствора серной кислоты.

Общий объем питательного раствора 4500 л. Следовательно, на 1 л раствора пойдет 100 мл 0,02 н. раствора серной кислоты, а на 4500 л — 450 л 0,02 н. раствора серной кислоты. Крепкая (95%) серная кислота является 35,5 н. Если 0,02 н. раствора кислоты должно пойти 450 л, то 35,5 н. раствора должно пойти во столько раз меньше, во сколько раз 35,5 больше 0,02, т. е.  $0,02 \times 450 = 35,5 x$ , где  $x$  — число литров крепкой серной кислоты

$$x = \frac{0,02 \times 450}{35,5} = 0,253 \text{ л.}$$

т. е. для доведения рН до 5,6 необходимо добавить 253 мл крепкой серной кислоты.

После добавления соответствующего количества серной кислоты необходимо проверить рН и подтитровать раствор; если получилось неточно — еще раз серной кислотой или щелочью.

**Примечание.** Еще более просто (хотя и менее точно) можно доводить рН раствора до 5,6 по одному индикатору — метилу красному.

При определениях берут две одинаковые пробирки или колбочки и в одну из них наливают фосфатный буферный раствор с рН = 5,6 (реактив 1), а в другую — такое же количество испытуемого раствора. В обе порции прибавляют затем одинаковое количество индикатора. Если испытуемый раствор будет иметь более желтый оттенок, чем стандарт, то он требует подкисления, если более красный, то — подщелачивания. На практике сталкиваются обычно только с необходимостью подкисления растворов, которое производится путем добавки к раствору серной кислоты. Многие авторы рекомендуют подводить рН не серной, а азотной кислотой.

#### Реактивы.

1. Фосфатный буферный раствор с рН = 5,6. Составляют путем смешивания 17,25 г кислого фосфорнокислого калия однозамещенного  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  и 1,19 г кислого фосфорнокислого натрия двузамещенного  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Смесь тщательно растирают в ступке и хранят в банке с притертой пробкой. Для приготовления стандарта растворяют 9,22 г этой смеси в 1 л дистиллированной воды. Можно заказать в аптеке таблетки соответствующего состава, рассчитанные на 100 мл или на 1 л, что намного облегчит работу.

2. Метилловый красный. Готовят растворением 0,2 г индикатора в 100 мл 60% этилового спирта.

В настоящее время для определения рН имеется много приборов — потенциометров различных марок с хингидронным или стеклянным электродом. Описание их дано в любом практическом руководстве по физической химии, а также в руководстве по агрохимическому анализу почв (Соколов, Аскивази и Сердобольский, 1954).

Очень прост и удобен в работе иономер ИМ-2, выпускаемый Киевским заводом электроприборов. Иономер предназначен для определения рН в области от 1 до 12 с точностью до  $\pm 0,2$  (что вполне достаточно для определения рН питательных растворов).

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ рН С ПОМОЩЬЮ ИОНОМЕРА ИМ-2

**Принцип метода.** Действие иономера основано на закономерном изменении ЭДС гальванического элемента, составленного из насыщенного хлорсеребряного полуэлемента и сурьмяного электрода, в зависимости от рН измеряемого раствора. Прибор состоит из трех основных частей: 1) сурьмяного электрода — литой сурьмяной чаши (внутри корпуса на стенке помещено сопротивление из никелевой проволоки), 2) хлорсеребряного полуэлемента, смонтированного в пластмассовой трубке, и 3) изме-

рителя. Измеритель представляет собой прибор магнитоэлектрической системы. Шкала измерителя проградуирована в величинах рН и в милливольтгах.

**Ход анализа.** Работа с иономером очень проста. После проверки работы прибора по буферному раствору сурьмяную чашу и хлорсеребряный полуэлемент споласкивают испытуемым раствором. Затем наливают в сурьмяную чашу 20—25 мл испытуемого раствора, погружают в раствор хлорсеребряный полуэлемент и, перемешивая раствор полуэлементом в течение 30—40 сек, снимают показание прибора. Раствор затем выливают и электроды промывают водой.

**Примечание.** В настоящее время промышленность начинает выпускать специальные аппараты, которые автоматически определяют рН пропущаемого через них раствора и доводят его до заданного значения. Среди приборов такого типа выпускается автоматический электронный рН-метр, состоящий из автоматического электронного потенциометра с высокоомным входом ЭПП-29 и одного из датчиков — проточного ДКН-05 или погружного ДКИЗ-01. Этот прибор измеряет и регулирует рН с точностью 1,5—2% от области измерения.

Промышленные крупные установки необходимо, конечно, оборудовать такими аппаратами, монтируя их парами (на случай ремонта) на выходной трубе, ведущей от центробежного насоса к каналам, наполняющим стеллажи, или к запасному баку, в который периодически перекачивается питательный раствор. Уход за таким автоматом будет заключаться только в возобновлении запаса серной кислоты, которой подкисляется раствор.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ В РАСТВОРЕ ВАЖНЕЙШИХ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Для точного определения важнейших питательных элементов — азота, фосфора, калия, кальция и магния необходимо иметь хорошо оснащенную химическую лабораторию, так как контроль за составом раствора требует точных и быстрых определений.

Для азота, фосфора и калия разработаны экспресс-методы, которыми следует пользоваться в том случае, если по какой-нибудь причине в установке имеется в ходу только один сливной бак для питательного раствора и исправление его состава надо сделать в течение 2—3 часов. Если есть запасные баки, то лучше пользоваться более точными методами анализа, описание которых также нами приводится.

Экспресс-методы определения кальция и магния являются одновременно и достаточно точными, так что никаких других приемов анализа этих элементов осваивать не надо.

Для ориентировочных анализов питательных растворов можно пользоваться полевой походной лабораторией для анализа сока растений (сумкой Магницкого). При анализе питательных растворов по инструкции, разработанной Магницким (Магницкий, 1954; Магницкий, Шугаров и Малков, 1959), необходимо помнить, что концентрация питательного раствора примерно в

10 раз ниже, чем содержание анионов и катионов в клеточном соке, а потому раствор должен быть упарен до  $\frac{1}{10}$  первоначального объема. После этого можно проводить анализы растворов точно таким же образом, как это описано для анализов сока.

Для анализов питательного раствора можно пользоваться и набором реактивов полевых лабораторий для анализа природных вод.

#### Определение азота в питательном растворе

Азот в питательном растворе может быть дан в двух формах: в виде аммонийного иона или в виде иона нитрата. Значительно реже применяется в составе питательного раствора мочевины.

Если требуется определить общее содержание азота в растворе, то азот нитратов восстанавливают до аммиачного, и аммиак определяют колориметрически, или объемным методом. Для раздельного определения аммиачного и нитратного азота необходимо пользоваться специальными методами.

##### *А. Определение общего азота в питательном растворе*

Ход анализа. 20 мл питательного раствора помещают в колбу, к которой на шлифе присоединены каплеуловитель и холодильник. В колбу вводят пипеткой 2,0 мл щелочи (25% раствор, реактив 1) и 0,2 г сплава Дебарда (реактив 2) и быстро соединяют ее с холодильником. Конец холодильника прибора предварительно опускают в приемную колбочку с 15—20 мл 0,02 н. серной кислоты (реактив 4). Колбу со щелочным раствором нагревают на слабом огне до тех пор, пока не закончится бурная реакция восстановления нитрата цинком и алюминием, входящими в состав сплава Дебарда. Затем нагрев усиливают, содержимое колбы закипает, и в течение 10 мин. из нее отгоняют образовавшийся аммиак в приемную колбочку вначале с опущенным в кислоту кончиком холодильника, а затем колбочку опускают так, чтобы кончик холодильника не касался жидкости. За 10—15 мин при хорошем кипении отгоняется весь аммиак.

Избыток серной кислоты, не связанный с аммиаком, оттитровывают 0,02 н. едким натром (реактив 5) по смешанному индикатору (реактив 3). Смешанный индикатор в кислой среде имеет лилово-красную окраску, при  $pH = 5,5$  он бесцветен, при более высоком  $pH$  он приобретает зеленую окраску. Переход очень четкий и происходит при добавлении 1—2 капель щелочи. Титрование ведут до зеленой окраски, не исчезающей в течение нескольких минут.

1 мл 0,02 н. серной кислоты соответствует 0,28 мг азота.

Расчет содержания азота ( $x$ ) ведется по формуле

$$x = \frac{(V_1 f_1 - V_2 f_2) \cdot 0,28 \cdot 1000}{A} \text{ мг/л,}$$

где  $V_1$  — объем 0,02 н. серной кислоты, взятый в приемную колбу (в мл);  $f_1$  — поправка к нормальности кислоты;  $V_2$  — объем 0,02 н. едкого натра, затраченный на титрование избытка кислоты;  $f_2$  — поправка к нормальности щелочи; 0,28 — титр 0,02 н. серной кислоты по азоту;  $A$  — число миллилитров пробы, взятое в анализ.

Примечания: 1. Необходимо провести холостое определение содержания азота во всех реактивах. Если в реактивах содержится небольшое количество азота, то результаты холостого определения необходимо вычесть из результатов опытного определения. Если азота в реактивах много, то необходимо произвести очистку реактивов и воды, как будет указано ниже.

2. В комнате, где производится определение азота, не должно быть аммиака, так как это может завязать результаты анализа.

#### Реактивы.

1. 25% едкий натр, свободный от аммиака и нитратов. Раствор щелочи нагревают с 0,1 г сплава Дебарда сначала на слабом огне, а потом кипятят в течение часа. Раствор сливают в склянку с притертой пробкой (сплав Дебарда остается на дне колбы, в которой кипятили раствор).

2. Сплав Дебарда. Состоит из 50 частей меди, 5 частей цинка и 45 частей алюминия. Реактив продается в готовом виде.

Можно приготовить его самостоятельно. Для этого 50 г медных стружек, 45 г алюминиевой крупы или пыли и 5 г гранулированного цинка смешивают и помещают в глиняный тигель, замазывают тигель глиной и помещают в тигельную печь с температурой накала 1000°. При 1000° сплав выдерживают в течение часа, а затем жидкий сплав выливают в чашку с холодной водой (остерегаться брызг, надеть очки). Сплав легко измельчается в тонкий порошок. При восстановлении этим сплавом остается медная пыль, обеспечивающая ровное без толчков кипение раствора.

3. Смешанный индикатор: а) 0,06 г метиленовой сини растворяют в 50 мл 93% этилового спирта; б) 0,13 г метила красного растворяют в 100 мл 93% этилового спирта. Смешивают оба раствора.

4. 0,02 н. серная кислота.

5. 0,02 н. едкий натр (можно пользоваться и 0,01 н. растворами).

Таким же образом можно отдельно определять аммонийный и нитратный ионы. Методика удобна при не очень малых содержаниях аммиачного и нитратного азота в растворе.

#### *Б. Объемное определение аммонийного и нитратного азота в одной пробе*

Ход анализа. Определение проводят в том же приборчике, в котором проводилось определение общего азота. Сначала отгоняют аммонийный азот.

20 мл питательного раствора наливают в колбу, вливают 2 мл 25% едкого натра (реактив 1), быстро соединяют колбу с холодильником и в течение 10—15 мин отгоняют аммиак в колбочку с 15 мл 0,02 н. серной кислоты (7—10 мин с опущенным в колбочку холодильником и 3—5 мин с поднятым). Избыток кислоты титруют 0,02 н. едким натром по смешанному индикатору (реактив 3).

1 мл 0,02 н. серной кислоты соответствует 0,36 мг  $\text{NH}_4$ . В остальном расчет такой же, как и для общего азота. Определение нитратного азота проводится в той же пробе. После того как проба в колбе остынет, в нее всыпают 0,2 г сплава Дебарда, предварительно подставив под холодильник колбочку с 15 мл 0,02 н. раствора серной кислоты. Нагревают колбу сначала на слабом огне, а затем нагрев усиливают. Отгонка образовавшегося при восстановлении нитратов аммиака продолжается 10—15 мин. По окончании отгонки конец холодильника обмывают водой и избыток серной кислоты оттитровывают раствором едкого натра со смешанным индикатором.

1 мл 0,02 н. серной кислоты соответствует 1,24 мг  $\text{NO}_3$ . В дальнейшем расчет проводится как и при определении общего азота. Реактивы те же, что и при определении общего азота (см. стр. 143).

Примечание. Азот нитратов можно определять таким способом только при отсутствии в растворе органических соединений азота.

#### *В. Колориметрическое определение иона аммония*

Принцип метода. Колориметрическое определение иона аммония основано на образовании желтого окрашивания со щелочным раствором иодмеркуриата калия ( $\text{K}_2\text{HgJ}_4 \times \text{KOH}$  — реактив Несслера).

Реактив весьма чувствителен, он обнаруживает 0,1 мг  $\text{NH}_4$  в 1 л воды. При количественном определении предельная концентрация, которая допускается для определения аммиака по этому методу, составляет 0,002 мг  $\text{NH}_4$  в 1 мл раствора. При концентрации аммония 0,05—0,1 мг/мл раствор мутнеет, и выпадает желто-бурый осадок.

Недостаток метода заключается в том, что в сильно щелочной среде выпадают гидраты окиси и фосфаты кальция, магния, железа и алюминия. Это приводит к помутнению растворов и получению резко завышенных результатов. Для того чтобы ионы кальция и магния не выпадали в осадок, к испытуемому раствору добавляют сегнетову соль. Однако таким образом не всегда можно добиться полной прозрачности раствора. Поэтому при анализе питательного раствора аммиак следует определять в дистилляте, получаемом, как указывалось, в объемном методе определения иона аммонийного азота (см. стр. 143).



тати с растворами, содержащими большие количества нитратов.

Ход анализа. 5—10 мл питательного раствора выпаривают досуха на водяной бане в фарфоровой чашке; к сухому остатку прибавляют 1 мл дисульфифеноловой кислоты (реактив 1) и тщательно размешивают смесь стеклянной палочкой. Через 10 мин прибавляют 15 мл воды и 20% раствора едкого натра или аммиака до щелочной реакции (по лакмусовой бумаге). Раствор переносят в мерную колбу на 25,50 или 100 мл в зависимости от интенсивности окраски раствора, доливают водой до метки, тщательно перемешивают и сравнивают в колориметре с образцовым раствором.

Примечания: 1. Если в питательном растворе имеются хлориды, то их надо предварительно удалить осаждением сернистым серебром, не содержащим  $\text{NO}_3^-$ . Осадок хлорида серебра отфильтровывают, если содержание иона хлора в определяемом объеме более 15 мг.

2. Большие количества иона аммония в растворе мешают определению, поэтому следует прибавить в раствор до его выпаривания небольшое количество раствора сернистого калия.

#### Реактивы.

1. Дисульфифеноловая кислота (фенолдисульфокислота). 25 г фенола (ХЧ) растворяют в 150 мл концентрированной серной кислоты и нагревают в течение 6 часов на водяной бане в колбе с обратным холодильником. Раствор хранят в темной склянке с притертой пробкой. Продажный фенол следует предварительно отогнать. Для этого фенол в количестве 30—35 г помещают в колбу Вюрца с корковой пробкой и нагревают на плитке ( $t^\circ$  кипения фенола  $181^\circ$ ,  $t^\circ$  плавления  $41^\circ$ ), отгонка ведется без холодильника прямо во взвешенный стакан.

2. 20% едкий натр или 14% раствор аммиака.

3. Сульфат серебра. 0,44 г сульфата серебра, не содержащего нитрата, растворяют в 100 мл дистиллированной воды и хранят в темной склянке. 1 мл этого раствора осаждает 1 мг  $\text{Cl}^-$ .

4. Стандартный раствор нитрата калия. 0,1631 г ХЧ сухого азотнокислого калия растворяют в 1 л дистиллированной воды. 1 мл этого раствора содержит 0,1 мг  $\text{NO}_3^-$ . Для приготовления стандартов берут 1, 2, 3, 4 и 5 мл этого раствора, выпаривают в фарфоровой чашке и далее поступают так же, как и с испытуемым раствором. Таким образом готовится шкала для определения нитратов в фотоэлектроколориметре и шкала на пленке для определения нитратов путем сравнения с целлулоидной шкалой.

При определении нитратов в обычном колориметре выпаривают такое число миллилитров образцового раствора, чтобы содержание нитратов примерно соответствовало содержанию нитратов в испытуемом растворе.

Расчет содержания  $\text{NO}_3^-(x)$  ведется по формуле

$$x = \frac{C \cdot N_{\text{оср}} \cdot 100}{N_{\text{исп}} \cdot A} \text{ мг/л,}$$

где  $C$  — количество миллиграммов  $\text{NO}_3'$  во взятой пробе образцового раствора;  $H_{\text{обр}}$  — высота столба образцового раствора;  $H_{\text{исп}}$  — высота столба испытуемого раствора;  $A$  — количество миллилитров пробы, взятых на выпаривание.

Расчет проводится таким образом в случае, если и стандарт и опытный раствор разведены до одинакового объема перед колориметрированием в обычном колориметре.

*Д. Определение нитратов (путем восстановления их в нитриты) с реактивом Грисса (для приблизительной оценки их содержания)*

**Принцип метода.** Нитраты восстанавливают до нитритов с помощью цинковой пыли. При действии смеси уксуснокислого  $\alpha$ -нафтиламина с сульфаниловой кислотой (реактив Грисса) на нитриты образуется алое окрашивание, интенсивность которого пропорциональна количеству нитрита. Реакция весьма чувствительна.

**Ход анализа.** 1—5 мл питательного раствора наливают в пробирку, доводят водой до 5 мл (если взято меньшее количество раствора). Добавляют половину стеклянной лопаточки кислого сернокислого калия (реактив 1) и несколько кусочков цинка (реактив 2). Жидкость взбалтывают. Через 15 мин добавляют маленькую стеклянную лопаточку порошка реактива Грисса (реактив 3). Через 10 мин сравнивают опытный раствор со стандартным в колориметре или со шкалой стандартов на пленке.

**Реактивы.**

1. Кислый сернокислый калий. Смешивают в фарфоровой чашке 87 весовых частей сульфата калия с 49 весовыми частями серной кислоты. Умеренно нагревают до тех пор, пока масса делается прозрачной. Переливают ее для быстрого охлаждения в другую чашку, погруженную в холодную воду. Когда масса затвердеет, разбивают ее на куски.

2. Цинковая пыль.

3. Сухой реактив Грисса. 89 г винной или лимонной кислоты растирают в ступке и смешивают с 10 г сульфаниловой кислоты и 1 г  $\alpha$ -нафтиламина.

4. Стандартный раствор нитратов (см. определение нитратов с дисульфофеноловой кислотой).

**Определение фосфора в питательном растворе**

*А. Определение фосфора по Кирсанову*

**Принцип метода.** Метод основан на образовании синей окраски при восстановлении фосфомолибдата оловом в сильнокислой среде (примерный состав образующегося соединения  $[\text{MoO}_2 \cdot 4\text{MoO}_3]_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ ).

Интенсивность окраски раствора зависит не только от концентрации фосфора в нем, но и от условий восстановления (кислотности раствора). При низкой кислотности сама молибденовая жидкость может восстанавливаться, вызывая синее окрашивание раствора, а при очень высокой кислотности даже в присутствии фосфора окраска может не появляться. Поэтому необходимо при всех определениях фосфора работать с растворами определенной и одинаковой кислотности, причем такой, при которой сама молибденовая жидкость не дает помехи раствору.

Ход анализа. 1 или 2 мл питательного раствора наливают в пробирку и добавляют дистиллированной воды до 5 мл. Прибавляют 5 мл реактива Б (реактив 2) и опускают в раствор оловянную палочку. Помешивают раствор оловянной палочкой в течение 30 сек и через 5—10 мин сравнивают интенсивность окраски или со шкалой, приготовленной на целлулоидной пленке, или с серией стандартных растворов (см. приготовление образцового и стандартных растворов).

Записывают номер стандартного раствора (или шкалы на пленке), окраска которого совпадает с окраской опытного раствора, и по табл. 14 находят число миллиграммов фосфора (или  $P_2O_5$ ) в 1 л питательного раствора. В таблице (правая часть) приведено содержание фосфора в миллиграммах на 1 л как для случая, когда в анализ брался 1 мл питательного раствора, так и для случая, когда в анализ взято 2 мл раствора.

Таблица 14

Приготовление шкалы стандартных растворов и вычисление результатов анализа при определении фосфора  
(по методу Кирсанова)

№ пробирки	Объем образцового раств. (в мл), взятый в мерную колбу	Стандартные растворы			Испытуемый раствор			
		P (в мг)		$P_2O_5$ (в мг)	P (в мг/л)		$P_2O_5$ (в мг/л)	
		в 100 мл	в 5 мл	в 5 мл	В анализ взят 1 мл раств.	В анализ взято 2 мл раств.	В анализ взят 1 мл раств.	В анализ взято 2 мл раств.
1	1,25	0,1	0,005	0,011	5	2,5	11	5,5
2	2,50	0,2	0,010	0,023	10	5,0	23	11,5
3	3,75	0,3	0,015	0,034	15	7,5	34	17,0
4	5,00	0,4	0,020	0,046	20	10,0	46	23,0
5	6,25	0,5	0,025	0,057	25	12,5	57	28,5
6	7,50	0,6	0,030	0,069	30	15,0	69	34,5
7	8,75	0,7	0,035	0,080	35	17,5	80	40,0
8	10,00	0,8	0,040	0,092	40	20,0	92	46,0
9	12,5	1,0	0,050	0,114	50	25,0	114	57,0
10	15,0	1,2	0,060	0,137	60	30,0	137	68,5
11	20,0	1,6	0,080	0,183	80	40,0	183	91,5
12	25,0	2,0	0,100	0,229	100	50,0	229	114,5

### Реактивы.

1. Реактив А. В нагретые почти до кипения 100 мл дистиллированной воды всыпают 10 г химически чистого молибденовокислого аммония. После растворения молибдата раствор, если он мутный, фильтруют через беззольный фильтр, охлаждают и приливают к нему 200 мл соляной кислоты ( $d = 1,18-1,19$ ) и 100 мл дистиллированной воды. Полученный раствор хранят в темной бутылке в темном месте.

2. Реактив Б. К одной части реактива А прибавляют 4 части 0,2 н. раствора соляной кислоты. Реактив Б готовится перед самым проведением анализа.

3. Оловянная палочка (длина около 5 см, диаметр — 5 мм). Химически чистое олово в расплавленном виде наливают в стеклянную трубочку, запаивая с одной стороны или заткнутую асбестом (удобно для этой цели пользоваться разбитой пипеткой). После того как олово затвердеет, стеклянную трубочку разбивают, а оловянную палочку на каучуке присоединяют к стеклянной палочке.

4. Образцовый раствор. 0,1755 г кислого фосфорнокислого калия однозамещенного  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  растворяют в воде и доводят до 500 мл; 1 мл такого раствора содержит 0,08 мг фосфора. Для длительного хранения к раствору следует прибавить 2—3 капли хлороформа.

5. Приготовление шкалы стандартных растворов.

Из образцового раствора далее берут в мерные колбы на 100 мл количества раствора, указанные в табл. 14, и доводят водой до метки. При хранении стандартных растворов в них следует добавить 1—2 капли хлороформа. Для приготовления шкалы стандартных растворов берут из колб по 5 мл в пробирки одинакового диаметра емкостью 15 мл. Только в точно таких же пробирках в дальнейшем проводят определения фосфора. К 5 мл стандартных растворов прибавляют 5 мл реактива Б и в течение 30 сек помешивают раствор оловянной палочкой. Окраски испытуемых растворов сравнивают со шкалой стандартов. Этот метод не совсем удобен, так как приходится каждый раз готовить шкалу стандартов.

Удобнее сделать долго сохраняющую окраску целлулоидную шкалу.

6. Приготовление целлулоидной шкалы (по Пейве).

Рентгеновскую пленку (рентген-Х) опускают в теплую воду и аккуратно ватой и мягкой тряпочкой снимают эмульсию. Пленку споласкивают водой, просушивают на воздухе, предварительно вытерев мягкой тряпочкой и разрезают на небольшие кусочки. Готовят растворы анилиновой краски синего цвета и зеленого цвета (можно пользоваться обычными продажными красками для шерсти). Куски пленки помещают в горячий раствор краски на разное время (от нескольких секунд до 10 мин) и затем промывают водой. Подбирают интенсивность окраски

пленки, одинаковую с окраской каждого из стандартных растворов. Для растворов фосфора малой концентрации пользуются синей краской с небольшой примесью зеленой, для растворов с высокой концентрацией фосфора пользуются синей краской, причем для наиболее высоких концентраций фосфора пленки можно накладывать друг на друга в два или три слоя. Подобрать пленки, соответствующие по окраске растворам, кусочки их наклеивают на картон, покрытый черной бумагой, с прорезями, соответствующими двойной толщине пробирки. В одну половину прорези (30 × 15 мм) вклеивают пленку, а вторую половину прорези оставляют пустой. К обратной стороне листа к краям приклеивается лист прозрачной бумаги. При анализе испытываемая пробирка помещается в прорезь картона рядом с целлулоидной пластинкой, а за целлулоидной пластинкой помещается пробирка со всеми реактивами, но с водой вместо питательного раствора.

#### *Б. Колориметрическое определение фосфора с амидолом в качестве восстановителя*

**Принцип метода.** Метод основан на том же принципе, что и предыдущий. В качестве восстановителя фосфомолибденовой кислоты применяется амидол. Метод является не менее быстрым, чем метод восстановления оловом, значительно более точным, но требует более сложной аппаратуры. Сравнить окраску растворов можно в концентрационном колориметре или в фотоэлектроколориметре. Чувствительность реакции меньшая, чем при восстановлении оловом, так как меньшее количество молибдата, связанного с фосфатом, восстанавливается с образованием окрашенного соединения.

**Ход анализа.** 2 мл питательного раствора наливают в мерную колбу на 10 мл или в пробирку, градуированную на 10 мл. Затем туда добавляют 1,6 мл 2,5% раствора молибденовокислого аммония (реактив 1, готовится на 5 н. серной кислоте), доводят водой приблизительно до 9 мл, прибавляют 0,5 мл раствора амидола (реактив 2) и доводят водой до 10 мл. Через 30 мин концентрацию фосфата определяют в фотоэлектроколориметре или в обычном колориметре сравнивают со стандартным раствором (реактив 3).

Результаты пересчитываются на содержание фосфора в миллиграммах на 1 л раствора.

**Реактивы.**

1. Молибденовокислый аммоний. 5,0 г молибдата аммония растворяют в 200 мл 5 н. серной кислоты (28,2 мл серной кислоты ( $d = 1,836$ )) вливают в воду и по охлаждению доводят до 200 мл).

2. Амидол. 200 мг амидола растворяют в 100 мл 10% раствора метабисульфита калия  $K_2S_2O_5$ . Хранят в темной закупоренной склянке в течение одного месяца.

3. Образцовый и стандартные растворы готовятся так же, как и при определении фосфора по методу Кирсанова (см. табл. 14).

Для фотоэлектроколориметра снимаются показатели оптической плотности для трех кювет — 3, 5 и 10 мм. Затем составляется график, где по оси абсцисс откладывается содержание фосфора в стандартных растворах (в колбочке на 10 мл), а по оси ординат — оптическая плотность растворов. По графику находят содержание фосфора в испытуемом растворе (не забывая записывать, с какой кюветой ведется определение).

### Определение калия в питательном растворе

Существует много методов определения калия. Однако большинство из них довольно длительны, а быстрые методы, к сожалению, мало точны. Большинство методов является модификациями кобальтнитритного метода осаждения калия. Метод основан на малой растворимости осадка комплексного соединения кобальтнитрита калия  $K_2Na[Co(NO_2)_3]$  при большой растворимости кобальтнитрита натрия. Недостаток метода — непостоянный состав осадка, большое изменение растворимости при сравнительно небольших отклонениях температуры. Осадок кобальтнитрита калия надо поэтому получать в строго одинаковых условиях, строго соблюдать солевой состав среды при осаждении, время стояния осадка, температуру воды для промывания осадка. Кончать определение можно весовым, объемным или колориметрическим методом. Иногда при экспресс-определениях пользуются турбидиметрическим методом или методом предельной концентрации.

При определении калия, если не производится взвешивания осадка или определения величины осадка по муте, определение ведется косвенным путем — или по кобальту, или по количеству нитритов.

Кроме кобальтнитритного метода, в настоящее время широкое распространение получили два весовых метода, весьма точных и нетрудоемких — осаждение калия в виде дипикриламирата калия с последующим взвешиванием осадка и осаждение калия в виде тетрафенилбората калия с окончанием анализа весовым или объемным путем. Оба метода дают прекрасные результаты. Широко применяется определение калия с помощью пламенного фотометра.

Мы остановимся на методах, которые могут быть использованы при определении калия в питательных растворах и вместе с тем не требуют сложного оборудования.

#### *А. Определение калия по Пейве*

Принцип метода. При взаимодействии калия (в растворе 1,0 н. NaCl) с кобальтнитритом натрия, при концентрации

калия больше 16,6 мг/л он выпадает в осадок (при 20° С) в виде  $K_2Na[Co(NO_2)_3]$ . При меньших концентрациях калия осадок не выпадает. Разбавляя испытуемый раствор, находят предельную концентрацию, при которой калий в осадок не выпадает, и по ней определяют его количество в растворе.

Количество калия, при котором осадок не выпадает, зависит от температуры, как это видно из табл. 15.

Таблица 15

Растворимость кобальтнитрата калия при разных температурах

Температура (в °С)	Содержание $K_2O$ (в мг/л)	Содержание К (в мг/л)	Температура (в °С)	Содержание $K_2O$ (в мг/л)	Содержание К (в мг/л)
12	12	10,0	19	19	15,8
13	13	10,8	20	20	16,6
14	14	11,6	21	21	17,4
15	15	12,5	22	22	18,3
16	16	13,3	23	23	19,1
17	17	14,1	24	24	19,9
18	18	15,0			

Определению мешают ионы фосфата (в количестве более 5 мг на 5 мл раствора) и ионы аммония, если в испытуемом растворе их концентрация более 40 мг/л.

Ход анализа. При большом содержании аммония раствор необходимо выпарить досуха, слегка прокалить и разбавить 5-кратным объемом 1 н. хлористого натрия по отношению к первоначальному количеству взятой для анализа жидкости.

Если аммония в питательном растворе мало, то 4 мл питательного раствора разбавляют 1 н. раствором хлористого натрия до 20 мл. Затем в пробирки наливают по 5, 4, 3, 2, 1,5, 1,25, 1,0, 0,8, 0,6, 0,4 мл разбавленного раствора и доливают до 5 мл 1 н. раствором хлористого натрия.

Мерной ложечкой прибавляют в каждую пробирку по 0,1 г сухого и не дающего осадка с дистиллированной водой кобальтнитрата натрия и взбалтывают растворы. Через 30 мин наблюдают на свет за выпадением осадков в пробирках, начиная от наибольшей концентрации. Отмечают первую пробирку, в которой еще не выпал осадок, т. е. нет мутн.

Раствор в этой пробирке имеет предельную концентрацию, т. е. при 20° в нем содержится 20 мг  $K_2O$  или 16,6 мг К в литре. В одну пробирку обязательно ставят термометр и берут цифру из табл. 15, соответствующую предельной концентрации при данной температуре.

Расчет. При просмотре пробирок оказалось, что осадок выпал в пробирке, где было взято 3,0 мл разбавленного раствора, что соответствует 0,6 мл исходного испытуемого раствора (раствор был разведен в 5 раз, см. ход анализа). Температура, при которой производился анализ, была 23°. Следовательно, в 1 л этого раствора содержится 23 мг  $K_2O$ , а в 5 мл (общий объем раствора в пробирке) — 0,115 мг. Эти 5 мл соответствуют 0,6 мл взятого раствора, тогда по пропорции в 0,6 мл содержится 0,115 мг  $K_2O$ , а в 1000 мл содержится  $x$  мг

$$x = \frac{0,115 \cdot 1000}{0,6} = 192 \text{ мг } K_2O \text{ на 1 л или } 159 \text{ мг } K \text{ на 1 л.}$$

Примечание. Метод дает приближенные значения, поэтому его можно применять лишь при ориентировочных определениях.

### Б. Колориметрическое определение калия по кобальту

5 мг питательного раствора кипятят в маленькой колбочке в щелочной среде (добавляют несколько капель 0,1 н. едкого натра по фенолфталеину) для удаления иона аммония, если он имеется в питательном растворе. Прокипяченный раствор нейтрализуют уксусной кислотой (10%, реактив 2) и переносят содержащее в центрифужную пробирку с коническим дном. Если в колбочке раствор мутный, то после подщелачивания раствор фильтруют в центрифужную пробирку, промывают минимальным количеством воды и приливают к нему 1 мл 40% раствора кобальтнитрата натрия. Осадок оставляют стоять в течение 1 часа, а затем раствор с осадком центрифугируют при 3000 об/мин в течение 3 мин. Надосадочную жидкость сливают сифоном, а осадок промывают охлажденной водой и снова центрифугируют. Можно ограничиться двукратным промыванием осадка. Осадок растворяют несколькими каплями 6 н. соляной кислоты, раствор и промывные воды из пробирки переносят в маленькую фарфоровую чашечку и выпаривают раствор почти досуха. Выпаривание необходимо, так как излишняя кислотность раствора мешает колориметрированию (вместо голубых растворов получаются зеленоватые).

Осадок солей кобальта растворяют в небольшом объеме воды и переносят в градуированные на 5 и 10 мл пробирки или мерные колбочки. К раствору (не более 5 мл) добавляют 0,3—0,5 г хлористого аммония и 1—1,5 г роданистого аммония. Кобальт с роданистым аммонием образуют комплекс, диссоциирующий в воде. Затем доводят безводным ацетоном раствор до 10 мл, а если ацетон содержит воду, то берут меньшие количества воды и большие количества ацетона. При приливании ацетона появляется бирюзово-голубое окрашивание, так как при этом роданидный комплекс кобальта переходит в недиссоциированное состояние. Через несколько минут раствор колориметрируют в фо-

тоэлектроколориметре, концентрационном колориметре или сравнивают с цветной шкалой (см. определение фосфора, стр. 149).

**Реактивы.**

1. 20% раствор едкого натра.
2. 10% раствор уксусной кислоты.
3. Фенолфталеин (0,1% спиртовой раствор).
4. 40% раствор кобальтнитрита натрия.
5. 6 н. раствор соляной кислоты.
6. Хлористый аммоний, сухой.
7. Роданистый аммоний, сухой.
8. Приготовление образцового раствора и шкалы стандартов. 0,1907 г хлористого калия, перекристаллизованного и высушенного при 180°, растворяют в 1 л дистиллированной воды, не содержащей иона аммония. 1 мл этого раствора содержит 0,1 мг калия.

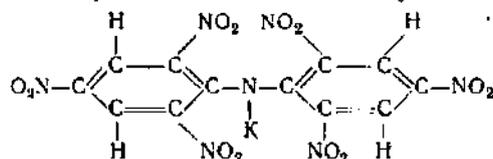
Для приготовления шкалы стандартов в центрифужные пробирки наливают 1, 2, 3, 4, 5 мл образцового раствора хлористого калия, разбавляют водой и далее проводят те же манипуляции, что и с опытными растворами.

Для фотоэлектроколориметра составляют график, где на оси абсцисс откладывается содержание калия, а на оси ординат — оптическая плотность растворов для двух кювет. Можно приготовить целлулоидную шкалу стандартов и пользоваться ею так же, как это описано в методике определения фосфора, однако окраску растворов сравнивать с такой шкалой трудно, так как интенсивность окраски небольшая.

*В. Весовое определение калия осаждением его дипикриламином*

Принцип метода. Калий образует с дипикриламином кристаллический трудно растворимый осадок. Такой же осадок образует с дипикриламином и ион аммония.

Формула дипикриламмина калия следующая:



Дипикриламины магния, кальция и натрия хорошо растворимы и не мешают определению.

Маленький фактор пересчета (0,0819) позволяет производить весовое определение небольших количеств калия с достаточной точностью.

Недостатки метода. 1) Дипикриламины — взрывчатые вещества, которые взрываются в сухом состоянии при на-

гревании выше 180° и при сильных толчках и ударах. Поэтому дипикриламины в лабораториях хранят в виде водного раствора (9%), а осадок дипикриламната калия сушат при температуре 100°. При соблюдении этих мер работа с дипикриламином вполне безопасна. 2) Дипикриламины ядовиты и являются интенсивными красителями. Поэтому дипикрилат калия осаждают в вытяжном шкафу. Работать следует в резиновых перчатках.

Ход анализа. 20 мл питательного раствора, содержащего приблизительно 200 мг калия на 1 л, или большие объемы его, если содержание калия более низкое, наливают в фарфоровую чашку, выпаривают на водяной бане и слегка прокаливают в муфеле (при  $t^{\circ} \approx 400^{\circ}$ ) для удаления аммонийных солей. Если в питательном растворе нет аммонийных солей, то берут 20 мл жидкости в стеклянный стакан, упаривают ее до 2—5 мл. Можно избавляться от аммонийных солей и другим способом — кипятить раствор с едким натром, не содержащим калия, однако нельзя сильно подщелачивать раствор, так как избыток ионов натрия мешает определению. Растворенный осадок в чашке или прокипяченный с едким натром раствор фильтруют через маленький беззольный фильтр в маленький стаканчик (на 25—50 мл) и фильтр 2—3 раза промывают. Фильтрат упаривают до такого объема, чтобы при прибавлении к нему дипикриламната магния в 1 мл раствора содержалось бы не менее 0,5 мг калия. Раствор нагревают и, сняв с плитки, вливают в него 2—4 мл свежотфильтрованного раствора дипикриламната магния (1 мл 9% раствора дипикриламната магния осаждает 5 мг калия, реактив 1).

Через 1 час (а при очень малом содержании калия через одни сутки) осадок отфильтровывают под разрежением через предварительно взвешенный тигель с пористым стеклянным дном № 3 или № 4 (через № 4 можно фильтровать раствор почти сразу после осаждения калия). Осадок аккуратно смывают со дна стакана минимальным количеством насыщенного раствора дипикриламната калия (реактив 2). Затем стакан и тигель промывают 1—2 раза 1—2 мл ледяной воды, тщательно отсасывают и сушат 1 час в сушильном шкафу при 100—105° (при более высокой температуре осадок разлагается). Это время достаточно для полной отдачи воды осадком. Осадок взвешивают, сушат еще полчаса, доводят до постоянного веса, что обычно получается при втором взвешивании. Для пересчета на калий вес осадка умножают на фактор 0,08195, для пересчета на окись калия — на 0,09867.

Расчет содержания калия ( $x$ ) ведется по формуле

$$x = \frac{B \cdot 0,08195 \cdot 1000}{A} \text{ мг/л,}$$

где  $A$  — объем раствора, взятый на определение (в мл);  $B$  — вес

осадка (в мг); 0,08195 — фактор пересчета с дипикриламином калия на калий.

**Реактивы.**

1. Дипикрилат магния, 9% раствор (0,2 н.).
2. Насыщенный раствор дипикрилата калия. Для промывания осадков небольшое количество осадка дипикрилата калия взбалтывают в колбе с водой. Оставляют стоять на ночь. Надосадочная жидкость после фильтрования служит для промывания осадков.

**Примечания:** 1. Приготовление дипикрилата магния из дифениламина описано в книге «Анализ минерального сырья» (1959, изд. 3, под ред. Книпович и Морачевского, стр. 63).

2. Подготовка тиглей к последующим определениям производится следующим образом. После взвешивания осадка тигли промывают при отсасывании водой, доведенной почти до кипения, осадок дипикрилата калия при этом растворяется. Иногда на пористой пластинке тиглей остается потемнение, но на весе тигли оно сказывается очень мало. Тигли сушат до постоянного веса, они снова готовы к работе.

Время от времени тигли кипятят в растворе перманганата, а затем избыток перманганата удаляют щавелевой кислотой и водой.

3. Регенерация раствора дипикрилата магния. Раствор дипикрилата магния может быть регенерирован. Поэтому все остатки дипикрилата — раствор после растворения дипикрилата калия и промывные воды (избыток дипикрилата магния) сливают в большую бутылку или колбу, в которую налита вода (500 мл), подкисленная серной кислотой (73 мл серной кислоты, 1:1).

Выделенный дипикрилат промывают несколько раз декантацией, отфильтровывают через воронку Бюхнера, промывают дистиллированной водой и переводят в раствор кипячением с карбонатом магния.

#### *Г. Весовое определение калия осаждением его тетрафенилборатом натрия (по Флашка)*

**Принцип метода.** Тетрафенилборат натрия  $\text{NaB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$  в нейтральных и слабнокислых растворах образует с ионом калия осадок тетрафенилбората калия  $\text{KB}(\text{C}_6\text{H}_5)_4$ . Натрий, магний и кальций образуют с тетрафенилборатом хорошо растворимые соли. Тетрафенилборат аммония слабо растворим в воде, поэтому аммоний необходимо предварительно удалить из раствора.

**Ход анализа.** 10—20 мл питательного раствора выпаривают досуха в фарфоровой чашке и слегка прокаливают в слабо накаленном муфеле для освобождения от ионов аммония. Осадок растворяют в небольшом объеме (~2 мл) 3% уксусной кислоты и отфильтровывают в стаканчик, в котором будет вестись осаждение. Промывают чашку и фильтр несколько раз очень небольшими порциями воды так, чтобы объем фильтрата составлял 18—20 мл (при этом кислотность во всех стаканчиках должна быть одинакова).

Осаждают калий избытком 3% тетрафенилбората натрия (реактив 1), причем 1 мл 3% тетрафенилбората натрия осаждает 3 мг калия. Раствор для осаждения нагревают до 70° и по

каплям наливают осадитель. (Некоторые авторы рекомендуют вести осаждение на холоду.) Дают раствору охладиться до комнатной температуры. Затем его отсасывают через тигель с пористым дном № 3, промывают 3 раза двумя миллилитрами промывной жидкости (реактив 3) и 2 раза дистиллированной водой (по 0,5 мл). Промывать осадок только водой нельзя, так как растворимость тетрафенилбората калия в 100 мл воды составляет 0,578 мг (при 20°). Осадок сушат при 105—110° до постоянного веса.

Расчет содержания калия (x) ведется по формуле

$$x = \frac{B \cdot 0,1091 \cdot 1000}{A} \text{ мг/л,}$$

где  $A$  — объем раствора, взятый в анализ (мл);  $B$  — вес осадка (в мг); 0,1091 — переводный множитель с тетрафенилбората калия на калий.

Реактивы.

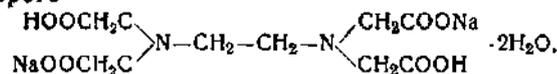
1. 3% водный раствор тетрафенилбората натрия. Может стоять 2 недели.

2. 3% уксусная кислота (проверить на чистоту).

3. Промывная жидкость. Растворяют небольшое количество хлористого калия (на кончике шпателя) в 2—3 мл воды, подкисляют уксусной кислотой, добавляют 5 мл осадителя, осадок фильтруют (через тигель с пористым дном), промывают. Осадок в тигле растворяют в минимальном количестве ацетона и выливают ацетоновый раствор в 100 мл воды. Образовавшийся при этом осадок тетрафенилбората калия отфильтровывают, к фильтрату добавляют 3% уксусной кислоты и используют его для промывания осадков. Осадок используют для приготовления следующей порции промывной жидкости.

#### Определение кальция и магния трилометрическим методом

Принцип метода. Кальций и магний образуют с двуназриевой солью этилендиаминотетрауксусной кислоты (ЭДТА, трилон Б, комплексон) комплексные соединения. Если раствор, содержащий соли магния и кальция, титровать трилоном Б, формула которого



то сначала в комплексное соединение с трилоном Б войдет весь кальций, и только затем будет образовываться комплекс магния. После связывания в комплекс магния в растворе не остается ни свободных ионов кальция, ни магния в ионной форме.

Индикатор мурексид (аммонийная соль пурпуровой кислоты) в щелочном растворе (рН = 12) в присутствии ионов кальция имеет пурпурную окраску, а в их отсутствии — фиолетовую.

Изменение окраски происходит в эквивалентной точке.

Индикатор ЭТ-00, эриохромчерный (при  $\text{pH} = 8-10$ ), в присутствии ионов магния имеет вишневую окраску, а в их отсутствии синюю. На этом принципе основано определение общей жесткости воды и отдельно кальция и магния.

С трилоном Б образуют комплексы многие другие катионы, в особенности медь, марганец и др. Поэтому необходимо избавиться от вредного действия этих ионов. В присутствии ионов меди конец титрования не виден. Медь связывают, добавляя в раствор небольшое количество сернистого натрия или диэтилдитиокарбамата натрия. Определению мешают большие количества фосфатов, поэтому необходимо от них освободиться (это не обязательно при анализе воды, так как вода обычно не содержит больших количеств фосфатов, но необходимо при проведении анализов питательных растворов).

Ход анализа. 20—50 мл питательного раствора пропускают через колонку, заряженную анионообменной смолой ЭДЭ-10 (реактив 1) или другой среднеосновной смолой (колонка  $7 \times 250$  мм с резервуаром  $15 \times 100$  мм), и собирают в колбу Эрленмейера на 250 мл. Смола заряжена ацетатом и должна содержаться без доступа воздуха.

Колонку после пропускания раствора промывают 2—3 раза дистиллированной водой.

а) *Определение кальция.* Пропущенный через колонку раствор вместе с промывными водами доводят до 100 мл (приблизительно), подкисляют 2 н. соляной кислотой по бумажке конго (бумажка в кислой среде из красной переходит в сиреневую). Затем раствор кипятят в течение 5 мин для удаления остаточной углекислоты, которая замедлит титрование, и охлаждают под пробкой, соединенной с колонкой, заряженной натронной известью. В охлажденный раствор добавляют 1 мл 10% сульфида натрия или несколько кристаллов диэтилдитиокарбамата натрия, которые устраняют вредное действие ионов меди. Для устранения мешающего действия марганца добавляют 5 капель раствора солянокислого гидроксиламина (реактив 5). Затем добавляют 5 мл 1 н. раствора едкого натра (реактив 2) для подщелачивания (до  $\text{pH} \sim 12$ ). Подготовленную таким образом пробу титруют 0,02 н. раствором трилона Б (в присутствии мурексида и свидетеля — заведомо перетитрованной пробы) до перехода окраски в фиолетовый цвет, устойчивый в течение 3 мин. 1 мл 0,02 н. трилона соответствует 0,4 мг кальция.

Расчет содержания кальция ( $x$ ) ведется по формуле

$$x = \frac{V \cdot f \cdot 0,4 \cdot 1000}{A} \text{ мг/л,}$$

где  $A$  — объем раствора, взятый в анализ (в мл);  $V$  — объем 0,02 н. трилона, затраченный на титрование;  $f$  — поправка к нормальности трилона; 0,4 — титр 0,02 н. трилона по кальцию.

б) *Определение магния в той же пробе.* Раствор после определения кальция подкисляют соляной кислотой и оставляют стоять несколько минут. Окраска мурексида при этом разрушается и не мешает дальнейшему титрованию магния. К раствору добавляют 10—20 мл аммиачного буфера (реактив 8) с тем, чтобы pH раствора был равным приблизительно 9. К раствору приливают несколько капель индикатора эриохромчерного (реактив 9) и титруют трилоном Б до перехода виннокрасной окраски в чисто синюю.

В конце титрования раствор можно нагреть до 50°. Тогда переход окраски будет более четким. 1 мл 0,02 н. трилона соответствует 0,24 мг магния. Далее расчет такой же, как и для кальция.

#### Реактивы.

Вода для промывания колонок и для приготовления всех реактивов должна быть лишена даже следов меди. Поэтому воду для анализов нужно отгонять в стеклянном холодильнике.

#### 1. Подготовка смолы.

Смола ЭДЭ-10 обрабатывается 7% соляной кислотой, затем отмывается от соляной кислоты до исчезновения пробы на хлор. Затем смола переводится в ацетатную форму — с этой целью она обрабатывается 1 н. уксуснокислым натрием и затем отмывается от избытка натрия водой. В таком виде смола готова к употреблению. Питательный раствор может пропускаться через одну и ту же анионообменную колонку 2—3 раза, так как смола обладает достаточной емкостью. Затем смола снова заряжается промыванием раствором уксуснокислого натрия и водой.

2. Раствор едкого натра 40 г едкого натра растворяют в прокипяченной воде или кипятят в течение 15 мин. Доводят раствор по охлаждению до 1 л.

3. 10% раствор сернистого натрия (готовится в день проведения анализа).

4. Диэтилдитиокарбамат натрия (сухой).

5. 10% раствор гидроксиламина солянокислого.

6. 0,02 н. раствора трилона Б. 3,72 г трилона Б растворяют в 1000 мл воды, не содержащей ионов меди.

7. Мурексид. 0,1 г мурексида растирают с 9,9 г хлористого натрия.

8. Буферный раствор. 20 г химически чистого хлористого аммония растворяют в дистиллированной воде, добавляют 100 мл 25% раствора аммиака и доводят дистиллированной водой до 1 л.

9. Эриохромчерный (ЭТ-00). 0,5 г индикатора растворяют в 20 мл аммиачного буферного раствора и доводят до 100 мл этиловым спиртом. Раствор хранится в течение двух недель. Можно готовить сухой реактив, смешивая 1 часть индикатора и 99 частей поваренной соли.

10. 0,01 н. сернокислый магний. 1,2325 г сульфата магния ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) растворяют в дистиллированной воде и доводят в мерной колбе до 1 л.

### 11. Установление нормальности раствора трилона Б.

В коническую колбу отмеривают 20 мл 0,01 н. раствора сульфата магния, добавляют 10 мл аммиачного буфера и титруют трилоном Б в присутствии эриохромчерного. Нормальность раствора трилона вычисляют по формуле

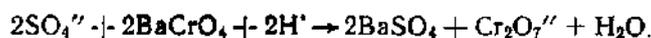
$$N_{\text{трилон}} \cdot V_1 = N_{\text{MgSO}_4} \cdot V_2,$$

где  $N_{\text{трилон}}$  — нормальность трилона;  $N_{\text{MgSO}_4}$  — нормальность раствора сернокислого магния (0,01);  $V_1$  — объем трилона, затраченный на титрование;  $V_2$  — объем раствора сульфата магния, взятый на определение.

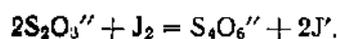
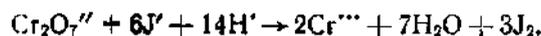
Примечание. Все необходимые для анализа кальция и магния реактивы имеются в наборе для определения жесткости воды.

### Объемное определение иона сульфата

Принцип метода. Заключается в том, что в кислой среде ион сульфата реагирует с хроматом бария с выделением эквивалентного количества иона бихромата



Бихромат ион выделяет из иодида калия эквивалентное количество иода, определяемое титрованием тиосульфатом натрия



Избыток хромата бария удаляют осаждением его при усреднении жидкости аммиаком.

Ход анализа. В коническую колбу наливают 10—20 мл итательного раствора и доводят объем его до 50 мл. Раствор нагревают до кипения и прибавляют к нему 1 мл тщательно разболтанной суспензии хромата бария и 1,25 мл 0,5 н. раствора соляной кислоты. Раствор кипятят 3—4 мин до появления бурой окраски, затем нейтрализуют его, прибавляя по каплям 5% раствор аммиака до тех пор, пока цвет жидкости не станет желто-зеленым. Реакцию доводят по лакмусовой бумажке до нейтральной или слабо щелочной и охлаждают раствор до 15°, после чего реакцию снова проверяют. Нейтральную смесь фильтруют в колбу с притертой пробкой, собирают туда же промывные воды, наливают 10 мл 10% иодистого калия и 25 мл 0,5 н. соляной кислоты и оставляют колбы на 20 мин в холодной воде. Выделившийся иод титруют 0,005 н. раствором гипосульфита, добавляя в конце титрования 2 мл 0,5% раствора крахмала. 1 мл 0,005 н. раствора гипосульфита соответствует 0,16 мг  $\text{SO}_4^{''}$ .

Расчет содержания иона сульфата ( $x$ ) производят по следующей формуле:

$$x = \frac{V \cdot f \cdot 0,16 \cdot 1000}{A},$$

где  $A$  — объем раствора, взятый на определение (в мл);  $V$  — объем раствора гипосульфита, израсходованный на титрование;  $f$  — поправка к нормальности гипосульфита; 0,16 — титр 0,005 н. раствора гипосульфита по сульфату.

#### Реактивы.

1. Хромат бария. 5 г хромата бария разбалтывают тщательно в 100 мл воды. Если готового реактива нет, его можно приготовить следующим образом: 48,86 г хлористого бария ( $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ ) растворяют в 1 л дистиллированной воды. Хромат калия  $K_2CrO_4$  в количестве 38,84 г также растворяют в 1 л воды. Оба раствора нагревают до кипения и сливают. Выпавший осадок хромата бария промывают декантацией, затем на фильтре несколько раз горячей водой, подкисленной уксусной кислотой, и, наконец, два-три раза горячей водой. Осадок высушивают при комнатной температуре.

2. 0,5 н. соляная кислота.

3. 5% аммиак.

4. 10% раствор иодистого калия, или сухая соль.

5. 0,005 н. раствор тиосульфата натрия.

6. 0,5% раствор крахмала, 2,5 г растворимого крахмала взбалтывают с 25 мл холодной воды и вливают в 400 мл кипящей воды. В раствор добавляют 0,05 г иодида ртути  $HgI_2$  для придания раствору стабильности.

### Колориметрическое определение железа с сульфосалициловой кислотой

Принцип метода. Ионы трехвалентного железа образуют с сульфосалициловой кислотой ( $C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$ ) окрашенные комплексы, состав и окраска которых зависят от pH раствора. В кислой среде образуется моносалицилат железа, обладающий буровато-розовой окраской.

Ход анализа. 50—100 мл питательного раствора выпаривают в фарфоровой чашке с несколькими каплями азотной кислоты (1:1) и 2—3 кристалликами надсернистого аммония  $(NH_4)_2 S_2O_8$ . Выпаренный досуха остаток растворяют в минимальном количестве воды с одной каплей соляной кислоты (1:1) и отфильтровывают в мерную колбочку на 10 мл. Добавляют 1 мл сульфосалициловой кислоты (реактив 4). Доводят раствор дистиллированной водой до метки и через 10 мин колориметрируют. Можно разводить растворы до 25 мл. В этом случае к осадку после высушивания добавляют 2—3 капли соляной кислоты (1:1) и фильтруют в мерную колбу на 25 мл. Прибав-

ляют в раствор 2,5 мл сульфосалициловой кислоты, доводят до дистиллированной водой до метки и через 10 мин колориметрируют.

**Реактивы.**

1. Азотная кислота (1 : 1).
2. Надсернистый аммоний.
3. Соляная кислота (1 : 1).
4. 10% раствор сульфосалициловой кислоты ( $C_7H_6O_6S \cdot 2H_2O$ ).
5. Стандартный раствор железа. 0,8640 г железоаммиачных квасцов  $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$  или эквивалентное количество другой соли трехвалентного железа растворяют в дистиллированной воде, в случае наличия мути добавляют несколько капель соляной кислоты до получения прозрачного раствора и разбавляют дистиллированной водой до 1 л. 1 мл такого раствора содержит 0,1 мг железа. Для приготовления стандартной шкалы берут в мерные колбы на 10 и 25 мл 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0 и 2,0 мл стандартного раствора, добавляют такое же количество соляной кислоты и сульфосалициловой кислоты, как и в испытуемые растворы, и доводят водой до 10 или до 25 мл.

**Качественная реакция на формалин**

При стерилизации песка или гравия формалином необходимо хорошо отмыть субстрат от следов формалина. Чистоту промывания следует проверить по качественной реакции на формалин.

**Ход анализа.** К 5 мл реактива Молера прибавляют каплю формалина. Через минуту появляется фиолетовая окраска усиливающаяся при стоянии. Таким же образом поступают опытным раствором.

**Реактивы.**

**Реактив Молера.** К 10 мл 0,1% водного раствора основного фуксина в склянке с притертой пробкой емкостью около 1 л приливают 100 мл свежеприготовленного раствора бисульфид натрия ( $d = 1,3$ ). Смесь хорошо взбалтывают, прибавляют дистиллированной воды и 15 мл серной кислоты ( $d = 1,84$ ), вновь тщательно взбалтывают и оставляют на 10—12 часов до полной обесцвечивания раствора. Хранить в темных склянках с притертыми пробками.

**Качественная проба на мышьяк**

Суперфосфат, применяемый для приготовления питательного раствора, не должен содержать мышьяка и фтора. Поэтому каждую новую партию суперфосфата необходимо проверять на содержание мышьяка.

**Ход анализа.** В маленькую чашечку или обрезанный кончик пробирки (емкостью 1 мл) приливают несколько капель испытуемого раствора и избыток 1 н. раствора щелочи до силь-

<sup>-8</sup>  
делочной реакции. Затем прибавляют небольшое количество цинковой или алюминиевой пыли или тонко измельченного сплава Дебарда (см. определение азота, стр. 143). Чашечку помещают на кусок фильтровальной бумаги, смоченной раствором азотнокислого серебра, и закрывают небольшой воронкой с заплавленным (или закрытым) концом. В случае присутствия мышьяка через 1—2 мин бумажка, смоченная азотнокислым серебром, почернеет. Реакция допускает обнаружение мышьяка в присутствии всех других катионов.

Для реакции необходимо применять совершенно чистые реактивы и каждый раз проверять, не содержат ли сами реактивы следов мышьяка.