

И. Г. МУРАШ

Кандидат сельскохозяйственных наук

АЭРОПОНИКА В ТЕПЛИЦАХ

Московский рабочий
1964

Брошюра рассказывает о воздушной культуре овощей — выращивании их без субстрата (в полом пространстве стеллажей и углубленных котлованов) путем опрыскивания корней питательным раствором, об управлении минеральным питанием растений с помощью автоматики.

Описанный метод, разрабатываемый в Научно-исследовательском институте овощного хозяйства, еще несовершенен, требует дальнейшего изучения. Полученные в настоящее время в совхозе «Марфино» под Москвой результаты свидетельствуют о том, что применение его обещает значительное повышение производительности труда.

Широкое изучение метода воздушной культуры в хозяйствах позволит правильно оценить его экономическую эффективность и возможность применения в производстве.

Брошюра рассчитана на специалистов, бригадиров и других работников защищенного грунта.

Отзывы и пожелания просим присылать по адресу: Москва, проезд Владимирова, 6, издательство «Московский рабочий».

ПРЕДИСЛОВИЕ

Способ выращивания культур в воздушной среде даже при современном состоянии (он еще мало изучен, разработан и освоен) имеет неоспоримые преимущества по сравнению с выращиванием в почвенной, гравийной, водной, песчаной и других средах не только для изучения роста и развития корневой системы растений, но и при использовании его на выгонку овощей, цветов и других культур. При дальнейшем усовершенствовании этот способ выращивания растений может оказаться самым дешевым, простым в эксплуатации, производительным и заслуживающим широкого внедрения в теплично-оранжерейные хозяйства. При бессубстратном выращивании культур полностью отпадают работы, связанные с подготовкой грунтов и их последующей обработкой, исключаются трудоемкие работы по поливу и внесению удобрений, затраты на создание искусственных сред взамен почвы (гравий, песок, торф и др.). Воздушная среда ликвидирует опасность поражения культур галловой нематодой, что имеет место при выращивании на любом субстрате.

Вот почему выступление кандидата сельскохозяйственных наук И. Г. Мураша в печати с описанием метода выращивания растений в воздушной среде представляет безусловный интерес.

В брошюре обстоятельно изложена агротехника тепличных культур, выращиваемых в воздушной среде, подробно разработан вопрос минерального питания растений.

Издание брошюры надо считать полезным и целесообразным не только для биологов, но и для всех работников сельского хозяйства.

Н. А. СМЕРНОВ,

*главный агроном совхоза «Марфино»
Люберецкого совхозно-колхозного управления
Московской области*

Известно, что овощи в защищенном грунте чаще всего выращивают на твердых субстратах. При этих способах управление условиями роста и развития затруднено, так как сложные взаимодействия корневой системы растений и субстратов изучить трудно.

В последнее время разработаны и внедряются в производство способы выращивания растений без субстратов — в водной и воздушной среде. Самый новый способ — выращивание растений в воздушной среде с применением автоматики для регулярного опрыскивания корневой системы питательными растворами.

Метод воздушной культуры позволяет управлять условиями жизни растений, широко использовать автоматизацию и механизацию трудоемких процессов при выращивании овощных растений, способствует росту урожайности при значительном снижении себестоимости овощей. Этот метод своими корнями уходит в глубь истории агробиологической науки.

Более полувека назад К. А. Тимирязев писал, что растения можно выращивать и без земли, если давать им необходимые для жизни вещества. Ученый, опытным путем установив взаимодействие водного и воздушного питания, предложил два способа продувания воздуха через питательный раствор, в котором выращива-

лись растения, устранять воздушное голодание корневой системы при вегетации на водной культуре.

Профессор В. Арциховский, исследуя вопросы питания растений, доказал возможность выращивания растений корнями в воздухе, если время от времени «вспрыскивать» их растворами. Это был научный вывод материалистической биологии начала XX века, который в дальнейшем подтвержден практикой. Статья о воздушной культуре В. Арциховского была опубликована на страницах русских изданий еще в 1911 и 1915 гг. и стала достоянием ученых всего мира. Об этом пишет и К. А. Тимирязев в своем произведении «Земледелие и физиология растений». Таким образом, начало воздушной культуры — аэропоники — мы находим в трудах русских классиков агробиологической науки, относящихся еще к началу XX века.

В наши дни работа с воздушной культурой овощных растений впервые была начата нами на опорном пункте Научно-исследовательского института овощного хозяйства (НИИОХ), организованном Министерством сельского хозяйства РСФСР в 1956 г., в теплицах Московского нефтезавода с помощью инженера-конструктора этого завода М. М. Лысенко.

В производственных условиях на гидропонике нами был разработан и практически осуществлен метод выращивания растений без субстратов, в воздушной среде. С 1957 г. этот способ изучался в теплицах нефтезавода на 10 кв. м, в 1959 г. — в совхозе «Белая дача» на 44 кв. м, в 1960 г. — там же на площади 160 кв. м. В 1961 г. в совхозе «Марфино» близ Москвы воздушная культура овощей оборудована на 12 кв. м стеллажей теплицы, в настоящее время — почти на 100 кв. м. Изучение нового метода в теплицах этого хозяйства расширяется.

Стеллажи для аэропоники оборудованы также при

выращивании цветочных растений в Останкинском цветочном комбинате, в подсобном хозяйстве одной из больниц г. Воркуты, в подсобном хозяйстве Никелькомбината Мурманской области, в Институте физиологии Академии наук СССР и других хозяйствах и учреждениях.

Можно утверждать, что наша наука давно овладела биологией требований растений к водно-воздушному питанию. Приоритет этого важного для теории и практики открытия в биологической науке — аэропоники — остается за Советским Союзом, за мичуринской биологией.

НЕКОТОРЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ АЭРОПОНИКИ

Тепличные хозяйства обычно располагаются в пригородной зоне, зачастую даже в городской черте, где отсутствуют источники почвенных смесей: навоз, дерновая земля и другие компоненты. Их приходится завозить издалека, а это обходится дорого.

Сооружения защищенного грунта также недешевы. Кроме того, они обычно мало приспособлены для механизации и автоматизации трудоемких процессов, и в большей части их широко применяется ручной труд. Чтобы привести в работоспособное состояние гектар теплиц, требуется 2500—3000 и более кубометров дерновой земли. Для этого необходимо распахать значительную площадь луга или целинного участка, снижая их продуктивность.

При сложившемся способе выращивания овощей в защищенном грунте дерновая земля служит основным условием повышения урожайности и требует замены через каждые три года, что связано также с дополнительными затратами, удорожает продукцию.

В колхозах и совхозах Советского Союза площадь теплиц достигает 2 млн. кв. м. Чтобы получать урожай, в них требуется заложить около 250—300 тыс. т конского навоза и 300—350 тыс. т дерновой земли. Чтобы подвезти землю и навоз к теплицам, требуется выполнить более 2 млн. т-км, затратить около 200 тыс. человеко-дней. С учетом замены почвы через 3 года затраты только на это составят до миллиона рублей ежегодно. Между тем 250—300 тыс. т навоза при изготовлении навозно-земляных компостов можно удобрить до 30 тыс. га земли под овощные культуры, выращиваемые в открытом грунте. Внося удобрения по 20 т на гектар, можно получить дополнительно по 25—50 ц овощей с каждого гектара, а по стране — сотни тысяч тонн товарной продукции овощей с открытого грунта, сотни тысяч центнеров зерна и технических культур, с лугов — значительное количество сена.

За последние годы в практике защищенного грунта вместо почвы внедряются гравий или его искусственные заменители. На гектар теплиц требуется 2,5—3 тыс. и более кубометров чистого, отсеянного и отмытого гравия. Приобретение их требует больших затрат средств, труда и транспорта. Кроме того, приобрести большое количество гравия даже в условиях Московской области весьма сложно. Очень важно учитывать и то, что гравий приходит в негодность, и через 6—7 лет его также приходится менять.

Культура овощей на твердых субстратах не избавляет рабочего от трудоемких процессов.

Гораздо меньше затраты при воздушной культуре овощей. Аэропоника исключает самые трудоемкие процессы подготовительного периода — заготовку субстратов. Экономия труда в сравнении с почвенной культурой овощей 99%, в сравнении с гравийной культурой — 98,5%. В первом случае экономится 25 214 человеко-ча-

сов, во втором — 1194 человеко-часа на гектар, а в масштабах колхозов и совхозов страны — миллионы человеко-часов.

По данным технологических карт, на гравийной культуре общая экономия труда по сравнению с почвенной культурой достигает только 5%, на воздушной культуре она гораздо больше. В сравнении с теплицами без механизации на каждом гектаре экономия труда достигает 117 230 человеко-часов, или 86,4%, при механизации — 64 780 человеко-часов, или 78,9%. По всем же теплицам колхозов и совхозов СССР при аэропонике экономия труда составит много миллионов человеко-дней. При аэропонике на подготовительных работах на каждый квадратный метр площади теплицы экономится 0,6—0,7 человеко-дня.

Между тем и урожай с единицы площади возрастет. Сокращается срок окупаемости затрат на оборудование, повышается коэффициент рентабельности.

При аэропонике в защищенном грунте также экономится большое количество местных органических удобрений, улучшается гигиена труда рабочих.

Воздушная среда во много раз легче других используемых в настоящее время сред. Например, она легче почвенно-навозной смеси в 525—550 тыс. раз, водного питательного раствора — в 760—770 тыс., гравия — в 1690—1700 тыс. раз.

Конструкции стеллажей и других приспособлений при этом способе могут быть легкими, выполненными из пленок, например винилпласта и других химостойких, водонепроницаемых материалов. Трубы и вентили также могут быть из синтетических материалов, дешевые и долговечные.

Следовательно, техническая реконструкция производства овощей под аэропонику исключает трудоемкие процессы, облегчает труд рабочего, повышает культуру про-



Рис. 1. Общий вид теплицы с огурцами на воздушной культуре.

изводства в овощеводстве защищенного грунта, предусматривает повышение урожая и производительности труда, снижение себестоимости овощей.

Но значение внедрения аэропоники не исчерпывается экономической эффективностью. При этом способе условия выращивания растений легко управляемы человеком. Это, очевидно, позволит выращивать овощи и другие культуры с заданными, например, лечебными или профилактическими свойствами против опасных для человека заболеваний. Аэропоника открывает большие возможности не только получения высоких урожаев при низкой себестоимости овощей в защищенном грунте, но может быть использована и в цветоводстве, и декоративном садоводстве, и как метод изучения корневых систем, разработки рациональной системы минерального питания.

ПОНЯТИЕ «АЭРОПОНИКА»¹. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Аэропоника — система бессубстратного выращивания растений, включающая автоматизацию и механизацию водного и воздушного питания корневой системы и растения в целом с учетом условий внешней среды, суточного и физиологического ритмов. Это новая технология выращивания растений в наземных стеллажах и углубленных котлованах с крышками. Корневая система растений развивается в условиях воздушной среды в полом пространстве из сетчатых стаканчиков, вставляемых в отверстия крышек стеллажей или углубленных котлованов. Корни, а при необходимости и листья, периодически, кратковременно опрыскиваются пита-

¹ *Аэро* — воздух, *поника* — работа; *аэропоника* — работа с воздухом и в воздухе.

тельным раствором из мелких отверстий нагнетательной трубы коллектора или форсунок нагнетательной коллекторной трубы. Трубы прокладываются на дне стеллажа или углубленного котлована в междурядьях выступающих под крышкой стаканчиков. Нерассадные растения размещаются не в стаканчиках, а на сетке, заменяющей крышки стеллажей или углубленных котлованов. Питательный раствор для опрыскивания корней периодически подается из бака в нагнетательную трубку и форсунки с помощью маломощной автоматической электронасосной станции (мотор, насос и автомат реле времени). После опрыскивания излишек раствора, скапывающийся с корней, возвращается в бак, а при необходимости идет на сброс путем принудительной циркуляции.

Схема устройства для опрыскивания корней питательным раствором показана на рисунке 2.

Электронасосная станция посредством реле времени автоматически регулирует сроки разбрызгивания питательного раствора на корневую систему растений. Раствор разбрызгивается через отверстия нагнетательной коллекторной трубы или форсунок, установленных с расчетом по одной на 2—4 растения. В этом случае корневая система растений опрыскивается через отверстие трубы с рассекателем струи для распыления раствора (рис. 3). Питательный раствор готовится в баке по специальному рецепту. Время от времени израсходованные на питание растений элементы добавляются в него.

Бак для питательного раствора

Емкость бака определяется площадью стеллажей, количеством растений, величиной суточного расхода питательного раствора, необходимого для растений, плюс

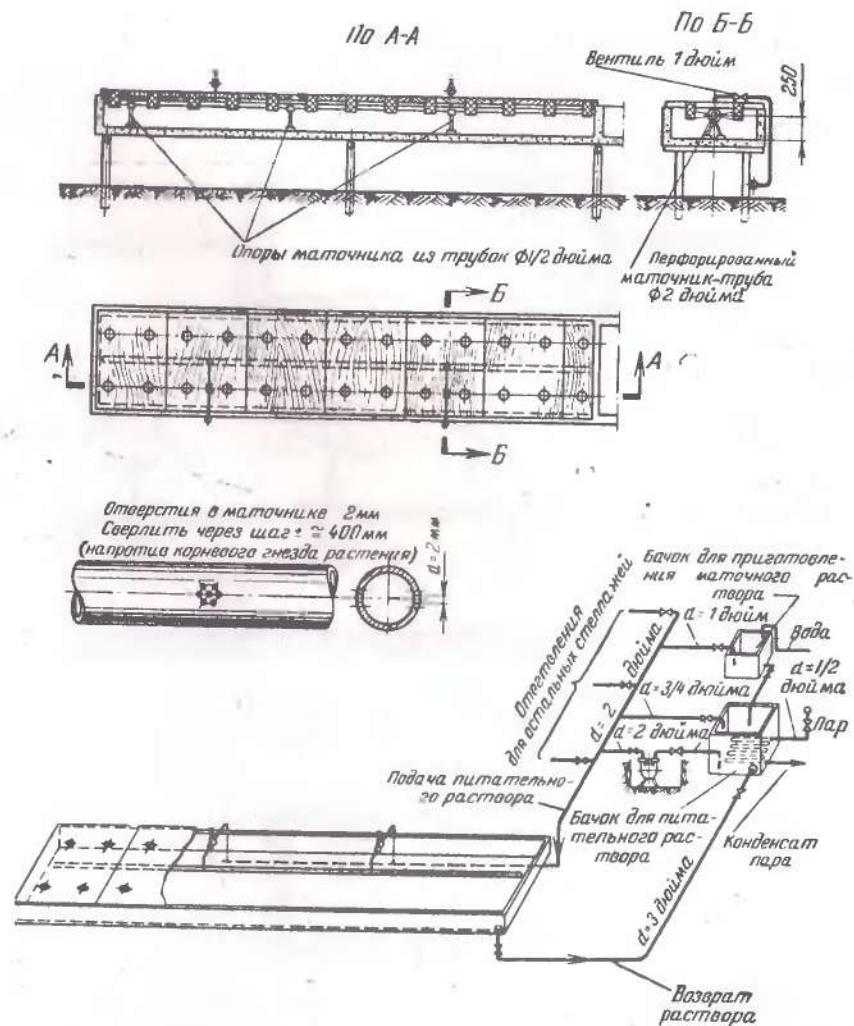


Рис. 2. Схема устройства узла питания и оборудования стеллажей и углубленных котлованов.

8—10-дневный запас. В совхозе «Марфино» бак прямоугольный, изготовлен из бетона, сверху закрыт крышкой. Емкость бака 1100 л. Внутри его для подогрева питательного раствора помещен змеевик из труб (25×2 мм), а для перемешивания устроен смеситель также из труб сечением 57×3,5 мм с отверстиями 4 мм.

Количество форсунок также определяется площадью, числом и размерами отверстий в стеллажах, занятых под воздушной культурой.

Бак помещается в котловане или на поверхности рядом с электронасосом. Так легче обеспечивается самозалив насоса и самотечный возврат питательного раствора в бак. Расход питательного раствора на один разбрызгиватель составляет в среднем 0,03 л в секунду.

Количество раствора, потребное для заполнения системы, должно быть постоянным и поддерживается в ней обратным клапаном, установленным в начале трубопровода (вблизи насоса). Раствор возвращается в бак через трубопровод, который для этого устанавливается ниже стеллажей с незначительным уклоном, или ручейком по дну углубленного котлована.

После разбрызгивания на корневой системе остается и не возвращается в бак 4—5% питательного раствора.

Подбор и работа электронасоса

Для обеспечения импульсного (регулярного, через определенные промежутки времени) питания овощных и других культур можно использовать электронасосы разной системы небольшой мощности. В совхозе «Марфино» установлен насос марки 1½К-6 производительностью 14 куб. м за час и напором 20 м водяного столба при числе оборотов 2950 в минуту. Мощность электро-

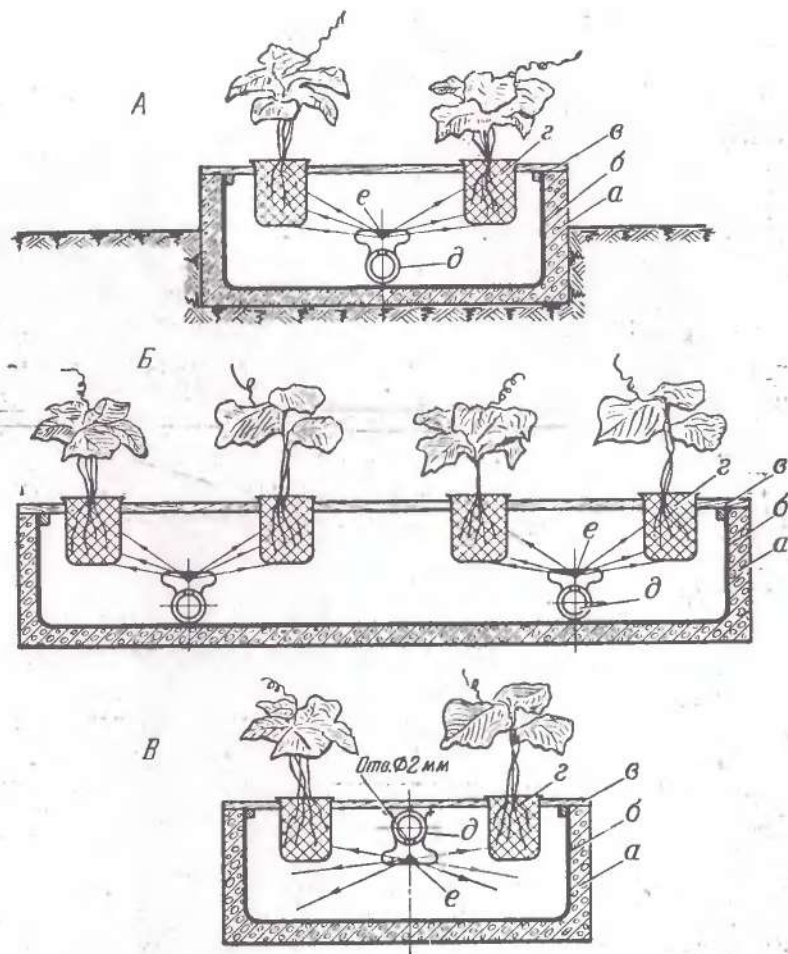


Рис. 3. Схема способов опрыскивания корневой системы.
 А — коллектор по дну наземного стеллажа; а — стеллаж; б — облицовка из винилпласта; в — крышка; z — стаканчик из капрона; д — коллектор; е — распылитель (рассекатель) струи.
 Б — стеллаж на четыре ряда растений с двумя коллекторами.
 В — коллектор расположен под крышкой стеллажа.

двигателя для данной производительности вычисляется по следующей формуле: $N = \frac{3,00 \times 20 \times 1,5}{102 \times 0,7 \times 0,9} = 1,4$ кВт; принимаем, что $N = 1,7$ кВт.

Это соответствует мощности электродвигателя, указанного в каталоге «Насосы». Насос поставляется с рамой. Он устанавливается в котловане на специальном фундаменте. Обвязка насоса приемными и выкидными трубопроводами поставляется вместе с ним.

Для расчетов в совхозе нами взята общая протяженность трубопровода от насоса до коллектора стеллажей и форсунок 50 м. При этом расстоянии потеря напора по таблице Маннинга для трубы и коллектора 2½ составляет всего 9,5 м, с учетом поворотов в фитингах.

Подача жидкости на теплицу в 100 кв. м составляет 10,8 куб. м в час, фактическое же поглощение раствора незначительно.

Автоматизация питания растений путем опрыскивания корней позволила одновременно проводить и внекорневые подкормки. Чтобы опрыскивать и зеленую часть растения, механические распылители выводятся на поверхность крышки стеллажа в зону стеблей и листьев. Способ имеет простую, дешевую и несложную конструкцию как для изготовления, так и для работы с ней.

Схема устройства для импульсного питания корней и листьев при выращивании растений в воздушной среде показана на рисунке 4. К нагнетательной коллекторной трубе привариваются стояки, выступающие над крышкой стеллажа. Они снабжены распылительными насадками с автоматическим циклом работы, осуществляемым от коллектора. Стоячки привариваются к коллекторной трубе 1 с таким расчетом, что раствор распыливается на 3—4 кв. м и более стеллажей. Конструкция стоячка имеет привод, состоящий из следующих элемен-

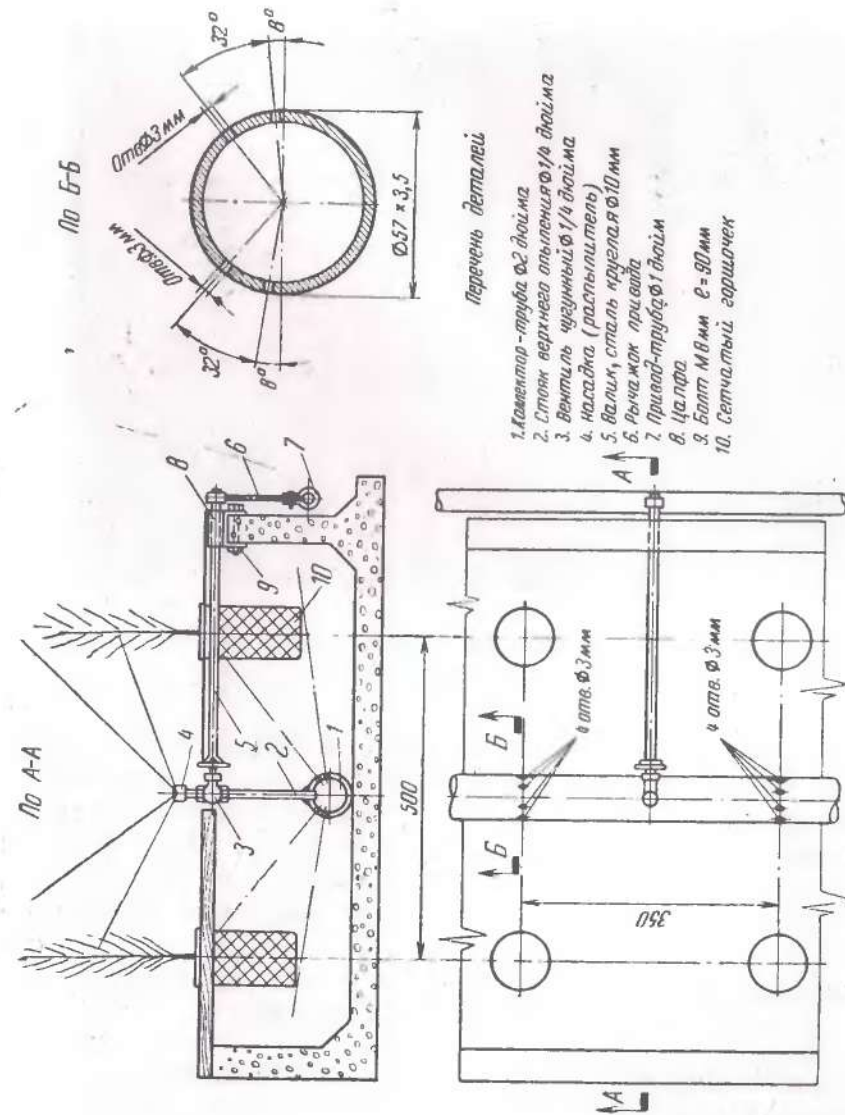


Рис. 4. Схема автоматического устройства для корневого и внекорневого питания растений.

тов: на стоячке 2 в маховичок вентиля 3 подсоединен валик 5 из круглой стали диаметром 10 мм, имеющий на конце рычажок 6, соединенный шарнирно с приводом 7 из стальной трубы диаметром 10 мм, цапфа 8, болт М8 9. Внекорневые подкормки могут осуществляться через вентиля с открыванием и закрыванием их, при необходимости вручную.

Разбрызгиватель питательного раствора

Чтобы обеспечить необходимое разбрызгивание питательного раствора и качественно опрыскивать всю корневую систему и надземную часть растений, в совхозе «Марфино» в течение 1961 и 1962 гг. изучался ряд способов опрыскивания корневой системы. При этом подтвердилось большое преимущество бесфорсуночного способа над форсуночным, который сложнее в работе. В процессе изучения автором совместно с Я. Ф. Абрамовым (слесарь) был разработан и внедрен в том же совхозе разбрызгиватель, обеспечивающий нормальное минеральное питание растений. Этот разбрызгиватель состоит из сопла с отверстием диаметром 2—3 мм с коническим рассекателем. Сопло ввинчивается в отверстие нагнетательной трубы, а над ним помещается конусный разбрызгиватель. С помощью сопла и конического разбрызгивателя и достигается необходимый распыл струи питательного раствора.

Бесфорсуночный способ опрыскивания растений значительно дешевле форсуночного и проще в работе. Он более приемлем в хозяйственных условиях колхозов и совхозов, более соответствует требованиям растений.

Приспособление к бесфорсуночному способу опрыскивания корней растений в виде разбрызгивателя питательного раствора непосредственно из отверстий нагне-

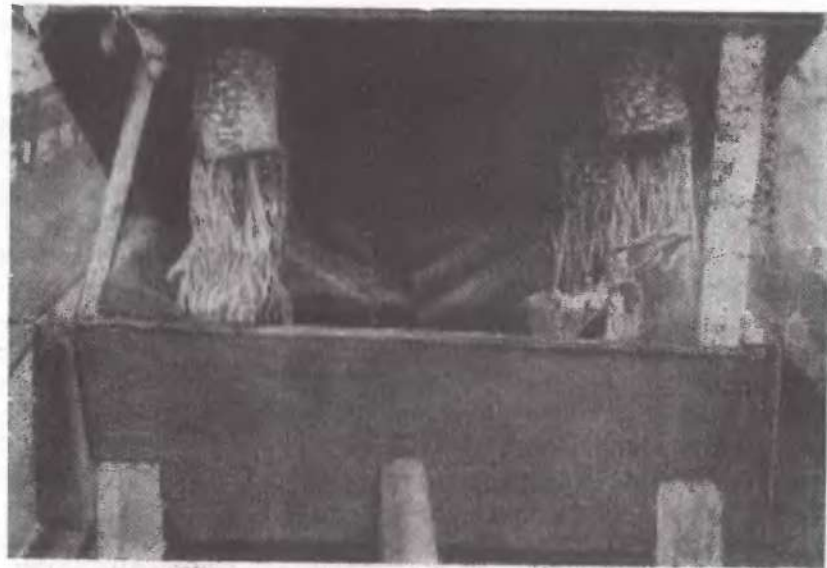


Рис. 5. Момент импульсного питания при бесфорсуночном способе опрыскивания.

тательной трубы коллектора позволяет улучшать микроклимат в зоне корней, в полном пространстве стеллажей, улучшать минеральное питание корневой системы и растений, создавая хорошие условия для их роста и развития, повышать урожай и снижать себестоимость единицы продукции в защищенном грунте.

Упрощенная схема реле времени для регулирования водного и воздушного питания

Для автоматического включения и выключения электронасоса через необходимые сроки установлен автомат реле времени. Этот автомат разработан на месте, про-

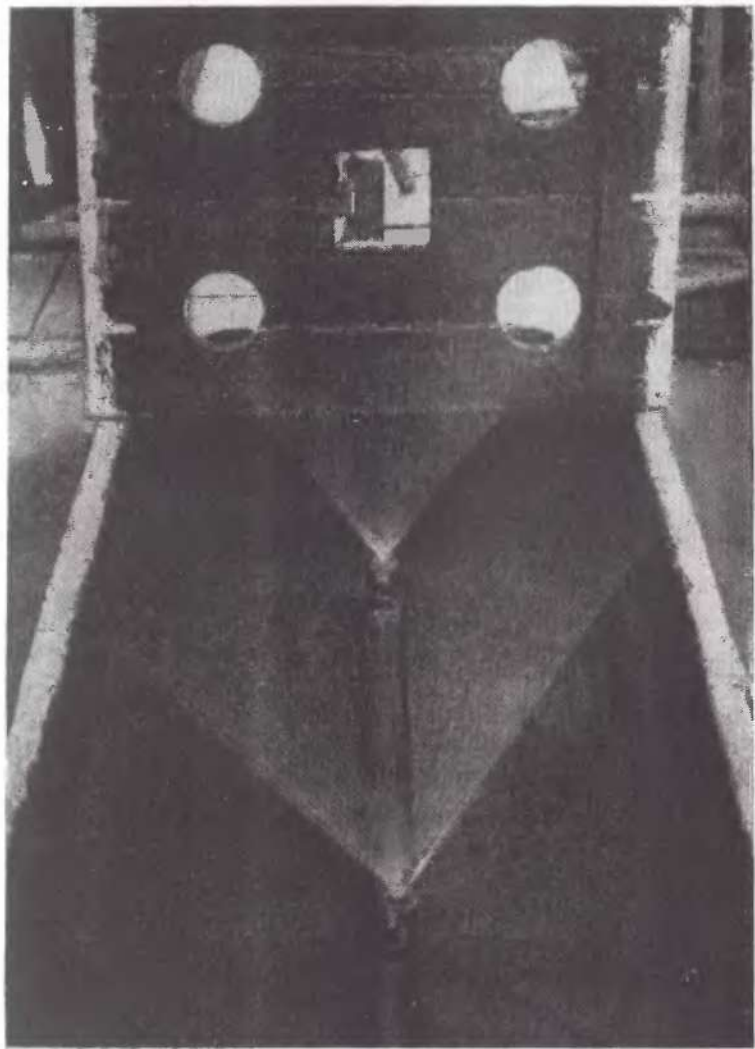


Рис. 6. Так работают форсунки (каждая на четыре растения; крышка стеллажа приподнята).

верен в работе и зарекомендовал себя как вполне надежный прибор.

Реле времени представляет собой обыкновенный часовой механизм (часы-ходики) без часовой стрелки, с диском вместо минутной стрелки. На этом диске установлен второй диск из латуни, имеющий кулачки, которые через определенные промежутки времени замыкают электрическую цепь, идущую к выключателю электронасоса. Кулачок держит в работе насос все время, необходимое для опрыскивания корней. Опытами установлено, что на одно опрыскивание требуется 5—7 секунд, а если не установлен обратный клапан, то и некоторое время на выдавливание раствора до форсунки. Затем кулачок размыкает контакты, и насос останавливается. При установке обратного клапана на выходе из трубопровода время, потребное на опрыскивание, сокращается в 2—3 раза.

В качестве привода часового механизма принят электродвигатель Уоррена с редуктором, имеющим 12 оборотов в минуту от электросети 220 в. В продаже имеются и специальные, более совершенные многоточечные автоматы, которые могут обеспечивать импульсное питание растений при аэропонике.

Автоматический контроль и управление водно-воздушным питанием растений

Чтобы вести контроль за условиями роста растений и управлением ими, чтобы централизовать его в одном диспетчерском узле, нами разработана с участием инженера К. К. Розинко система управления. Она необходима при строительстве новых теплично-парниковых комбинатов, а также при технической реконструкции существующих теплично-парниковых хозяйств.

Установка для автоматического контроля и управления процессом бесубстратного выращивания овощей позволяет наладить цикличность опрыскивания корней в пределах от минуты до 2 часов, менять время опрыскивания от одной до 30 секунд и более. Она позволяет контролировать температуру питательного раствора, подогревать его автоматически до заданного уровня, контролировать влажность в стеллажах, менять цикличность опрыскивания при понижении влажности, контролировать концентрацию солей в питательном растворе и вынос их.

При нарушениях заданного режима установка сигнализирует об этом звонком и световой сигнализацией.

В основе установки лежит реле времени с плавно меняющейся выдержкой времени. В зависимости от установки реле времени периодически включает реле цикла опрыскивания, а то, в свою очередь, на несколько секунд — насос (опять-таки в зависимости от установки времени).

Система автоматического контроля и управления процессом бесубстратного выращивания растений с помощью датчиков температуры сигнализирует о нарушении температуры в зоне корней, температуры раствора, автоматически включает или отключает электроннагреватели. При нарушении влажности в зоне корней системой автоматического контроля включается дополнительно или задерживается работа насоса для выравнивания влажности до заданного процента, а при изменении состава раствора — до заданного уровня, осуществляется сигнализация о необходимости ремонта или обновления питательного раствора. В системе отсчитывается число включений мотора, которое показывает, было ли нарушение влажности. Системой также осуществляется общий контроль за работой автоматической установки.

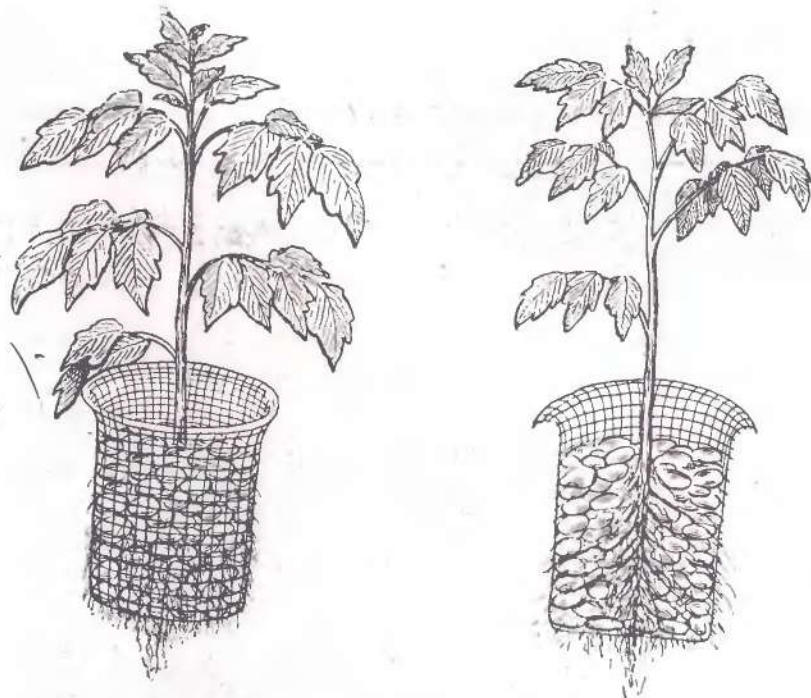


Рис. 7. Рассадка в сетчатых стаканчиках из синтетического материала.

Какие стеллажи используются для аэропоники

Для воздушной культуры овощей используются бетонные, деревянные, выложенные кирпичом или из другого материала стеллажи, углубленные котлованы, непроницаемые и стойкие к питательному раствору. Изнутри они облицовываются битумом марки 5+3 или 4, химостойкими лаками или красками. Стеллажи котлована можно устраивать также из плотной пленки винипласта и других материалов. Стеллажи и все оборудование

(трубы, баки, сетки и др.), соприкасающиеся с водным питательным раствором (кроме синтетических), внутри покрываются изоляционным слоем битума.

Деревянные крышки стеллажей и котлованов с нижней стороны также облицовываются битумом. Они необходимы для устранения испарения раствора, для создания места посадки, прикрепления шпагата шпалер и подвязки растений. В крышках стеллажей устраиваются круглые отверстия диаметром 6—7 см и сетчатые стаканчики таких же диаметров, высотой до 7 см из синтетических материалов. В совхозе «Марфино» они изготовлены из нестандартной лески (рис. 7).

РЕГУЛИРОВАНИЕ КОРНЕВОГО МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Состав питательных растворов

Питательный раствор, используемый для опрыскивания корневой системы, в основном состоит из 10 компонентов. В процессе вегетации количество питательных веществ в растворе может меняться в зависимости от состояния растений, этапов роста и развития, внешних условий. Состав раствора, включающего как макро-, так и микроэлементы, используемый при воздушной культуре огурцов в совхозе «Марфино», показан в таблице 1.

Сразу после приготовления раствора определяется pH. Наиболее быстрый и простой метод определения реакции водных растворов — электрометрический, с помощью потенциометра и упрощенные методы Алямовского и профессора Магницкого.

Требования овощей к кислотности раствора неодинаковы. Однако, как видно из таблицы 2, большинство из них требует среды, приближающейся к нейтральной.

Таблица 1

Состав раствора для воздушной культуры (в граммах на 1100 л воды)

Компоненты	Дата приготовления свежих растворов				
	16/VI	6/VII	22/VII	31/VII	13/IX
Мочевина	350	500	450	450	400
Сернокислый калий	830	1000	750	750	800
Суперфосфат (40%)	600	1200	1000	600	880
Сернокислый марганец	120	130	120	200	120
Борная кислота	1,1	1,3	1,3	2,2	2,2
Сернокислый марганец	0,56	0,60	0,6	0,37	0,37
Сернокислый цинк	0,12	0,15	0,15	0,37	0,37
Сернокислое железо	4,8	0,40	4,0	4,0	6,0
Сернокислая медь	0,64	0,70	0,7	0,6	0,6
Серная кислота (86%)	3,5 куб. см	3,5 куб. см	4 куб. см	4 куб. см	10 куб. см

Требования растений к кислотности раствора и ее определение

Очень важно, чтобы кислотность раствора приближалась к нейтральной. pH между 5,5 и 6,5 способствует лучшему развитию растения на всех этапах его жизни. Замечено, что в этих условиях гораздо менее вероятно нарушение нормального питания вследствие недостаточного усвоения того или иного элемента.

Таблица 2

Требования некоторых растений к рН

Растения	Требования рН	Растения	Требования рН
Огурцы	5,5—6,2	Шпинат	6,0—6,6
Лук порей	6,0—6,8	Томаты	5,5—6,4
Салат	6,0—6,8	Лук	6,5—7,0
Сельдерей	6,5—7,0		

В практике составления растворов могут быть ошибки, если не учитывать того, что растения разных видов и сортов на различных фазах своего роста и развития предъявляют неодинаковые требования к условиям питания. Об этом нельзя забывать.

Нормы и ритм импульсного питания

После посадки главной задачей ухода за растениями является хорошее дневное и ночное питание корней и зеленых листьев.

Чтобы подойти к вопросу автоматического управления минеральным питанием растений, требовалось изучить суточный и физиологический ритмы питания корневой системы.

Изучение характера поглощения питательного раствора корневой системой в течение суток проводилось нами на водной культуре в теплицах Московского нефтезавода, совхозов «Белая дача» и «Марфино» в производственных условиях, при естественной освещенности (днем) и в темноте (ночью) на площади по 5 кв. м. При этом в процессе роста и развития растения располагали достаточным количеством корневого питания непрерывно в течение су-



Рис. 8. Корневая система огурцов при воздушной культуре.

ток. В ходе исследования удалось выяснить, что в разное время и у разных растений транспирационный коэффициент не одинаков. В одних и тех же условиях микроклимата теплицы растения огурцов использовали раствора меньше, чем растения помидоров. Разница потребления раствора в пользу помидоров достигала значительных размеров.

Ход транспирации у растений огурцов и помидоров в дневное и ночное время в условиях водной культуры виден из результатов опытов, проводимых нами в 1957 г. (табл. 3).

Таблица 3

Поглощение питательного раствора одним растением днем и ночью за час (куб. см)

Сроки	Днем		Ночью		Увеличение расхода раствора растениями помидоров по сравнению с огурцами (%)	
	огурцы	помидоры	огурцы	помидоры		
					днем	ночью
1—15/VII . . .	24,7	38,3	17,5	26,3	35,5	33,5
16—31/VII . . .	31,5	51,8	21,4	28,9	31,5	22,2
1—15/VIII . . .	31,5	51,8	16,2	32,6	39,2	50,0
16—30/VIII . . .	28,5	38,3	14,0	27,6	25,6	49,3
Среднее . . .	29,8	45,5	17,3	28,8	34,7	39,9

Можно было наблюдать, что в процессе роста и плодоношения растений огурцов при свободном поглощении расход питательного раствора (на водной культуре) в ночное время относится к дневному как 3:4 или 1:2.

Поглощение раствора овощными растениями в те-

чение вегетации также разное. В начале вегетации оно выше, а затем уменьшается. Так, в начале июля потребление раствора корнями огурцов ночью выше, чем в конце месяца; у помидоров оба показателя несколько ниже.

На поглощение питательного раствора оказывают влияние и внешние условия. Среднее потребление питательного раствора одним растением за час достигало днем 31,3 куб. см, ночью — 17,3 с отклонениями до 3—7 куб. см.

Данные таблицы показывают, что в процессе плодоношения потребление раствора помидорами в дневное и ночное время было выше, чем у огурцов. Поглощение раствора за час одним растением огурцов на водной культуре днем достигало 29,8 куб. см, а растениями помидоров 45,5 куб. см, или на 34,7% больше. Ночью соответственно у огурцов — 17,3, у помидоров — 28,8, или на 39,9% больше (среднее за 2 месяца).

Амплитуда колебания поглощения раствора одним растением достигает у помидоров в дневное время от 3 до 13 куб. см, в ночное время от 1 до 6 куб. см в час. У помидоров ночное потребление по отношению к дневному относится как 2:3 (в среднем за 2 месяца), а дневное потребление раствора выше ночного на 36,7%.

Чтобы более полно выяснить суточный ритм корневого питания растений, нами был введен вариант, почти исключая минеральное питание корневой системы в ночное время. Это достигалось методом воздушной культуры огурцов и помидоров.

Определение расхода питательного раствора растениями при воздушной культуре проводилось с помощью измерительной линейки, помещаемой в питательном баке. Корневая система растений в ночное время не опрыскивалась или опрыскивалась изредка и не систематически, в течение 12—15 часов. Уровень стояния питательного раствора в баке замерялся утром и вечером.

Транспирация у растений в ночное и дневное время представляет непрерывный процесс, оказывающий влияние на рост, развитие и плодоношение растений. Перерыв поглощения питательного раствора в ночное время вызывает голодание растений, резко ухудшающее общее состояние, задерживает рост, ослабляет зеленую окраску листовой поверхности, изменяет характер репродуктивной фазы и продуктивность растений.

Этот опыт проводился в течение 3 месяцев. Данные опыта приводятся в таблице 4.

Таблица 4

Количественные соотношения корневого питания растений огурцов сорта Клинский многоплодный в течение суток

Месяц	Расход раствора в среднем за час на одно растение (куб. см)		Отношение ночного питания к дневному (%)
	днем	ночью	
Март	42,5	8,1	19,6
Апрель	41,5	8,1	19,5
Май	36,6	6,3	17,3
Среднее	40,2	7,5	18,8

Установлено, что при таком поглощении питательного раствора корнями, когда ночная транспирация у растений относится к дневной, как 1:5 или 1:6, растения голодали. Ограничение поглощения питательного раствора корневой системой в ночное время вызывает голодание растений, не устраняющееся последующим дневным питанием даже в том случае, если днем корневая система опрыскивалась питательным раствором чаще обычного.

Ночное минеральное голодание растений у разных

сортов помидоров и огурцов проявлялось, прежде всего, в ослаблении темпов роста стеблей и листьев, изменении характера плодоношения и общего состояния. В этих условиях огурец Клинский многоплодный плодоносил лучше, чем Китайский.

Ночное минеральное голодание проявляется в угнетении роста и изменении признаков растения. Начиная с 3—5-го дня у огурцов наблюдается постепенная потеря зеленой окраски листьев, затем желтеют их кончики, заворачиваются и подсыхают; позднее эти же явления наблюдаются на черешке и всей пластинке листа. Рост растений задерживается. Явление голодания проявляется вначале на нижних листьях и распространяется вверх по направлению к точке роста. Одновременно на растениях увеличивается число завязей, которое свидетельствует об ускорении их развития. Отдельные фазы развития растений и весь вегетационный период сокращаются. Образуются мелкие, часто уродливые плоды. Такого рода явления не наблюдались при свободном, непрерывном (в течение суток) корневом питании растений импульсами.

Выяснив особенности импульсного питания, требовалось изучить продолжительность импульсов и циклов. (Импульсами называется время, затрачиваемое на смачивание всей корневой системы питательным раствором, а циклами — промежутки времени между импульсами питания.)

Определение циклов и импульсов при воздушной культуре

В начале опыта растения опрыскивали вручную. Циклы и импульсы устанавливали по состоянию тургора растений. Учитывалось состояние тургора утром, до оп-

рыскивания, а затем после каждого опрыскивания корней. При этом принимались во внимание температура, время (часы, минуты) опрыскивания, а затем начало потери состояния тургора (подвядания) в течение дня (а иногда и в течение суток). В результате было установлено (визуально), что состояние тургора у растений, как правило, нарушалось при значительных температурных перепадах в зоне корнеобитания и листовой поверхности у огурцов раньше и в более сильной степени чем у помидоров. Но если растения огурцов и помидоров в ночь уходили с ослабленным тургором, то за это время состояние тургора у них восстанавливалось, несмотря на то, что корни ночью даже не опрыскивались раствором.

В процессе наблюдений выяснилось, что чем интенсивнее сила солнечного света, тем скорее и глубже происходило ослабление тургора, и раньше у огурцов, чем у помидоров, перцев, баклажанов и фасоли. Повышением влажности воздуха в теплице до 80—85% и выше, освежительными поливами листьев, крышек стеллажей и корней растений, развивающихся в сетчатых стаканчиках, поливами из шланга состояние тургора восстанавливалось. Сроки и условия подвядания растений огурцов и помидоров приводятся в таблице 5.

Как видим, состояние тургора теряется при самых различных температурах.

В зависимости от влияния факторов внешней среды, после опрыскивания корневой системы растворами днем потеря состояния тургора у растений в условиях достаточной освещенности наступала при температуре 23°, при слабом освещении — через 4 часа, при усиленном — через 30—40 минут и раньше. В ночное время без опрыскивания состояние тургора растений удерживалось в течение 14—15 часов. Таким путем нами было установлено, что минеральное питание должно повторяться не

Таблица 5

Условия и сроки увядания растений огурцов сорта Клинский многоплодный при воздушной культуре в теплице

Дата наблюдений (март)	Время опрыскивания корней раствором (часы — минуты)	Температура воздуха, при которой наступало увядание (градусы)	Начало подвядания после опрыскивания (часы — минуты)
10, 13, 17, 19	8—00	24	0—30; 1—25
8	8—00	28	1—30; 1—45
12, 18	8—00	24	1—45
15	8—00	23	2—00
14	8—00	21	2—55
12	9—45	26	2—00
19	9—45	29	2—15
13	9—45	24	3—05
11	8—00	21,5	4—40
10	8—00	25,23	6—00
12	11—45	25	4—55

с одинаковой частотой. Помимо этого, для определения продолжительности циклов и импульсов были проведены наблюдения за транспортировкой раствора и распределением его на корнях растений после опрыскивания.

На концах верхней части корней раствор задерживается до 10—15 минут, на нижележащих, пополняясь за счет раствора, скатывающегося с верхних корешков, он задерживается до 25—30 минут. Раствор, падая с верхних корешков, обволакивает нижние корешки и корневые волоски в виде пленки, частично испаряющейся и поглащающейся корнями. Корни, освобождаясь из-под раствора, подсыхают до влажности воздуха стеллажа (95—97%) и находятся под ее влиянием до по-

следующего опрыскивания. И если промежутки времени между опрыскиванием значительные, естественно, на поверхности корней и корневых волосков создается повышенная концентрация минеральных веществ и большая разница между влажностью в проводящей системе, подающей раствор к листьям. Вследствие этого некоторая часть раствора из проводящей системы выделяется на поверхность действующих корешков и корневых волосков и поддерживает обменное поглощение, снижая нагнетательную способность в проводящей системе. Так создается торможение транспирации до следующего опрыскивания, нарушается состояние тургора. Чтобы восстановить последний, необходимо устранить торможение поступления раствора по проводящей системе, установить соответствующей продолжительности циклы и импульсы, т. е. ритмичность питания.

Ритмичностью называется частота повторения водного питания. Тип цикличности и ритмичности должен соответствовать каждому циклу физиологических процессов, состоянию факторов внешней среды и природе растения. Например, сразу после высадки растений на постоянное место продолжительность цикла большая. Она связана с началом массового образования корней. В начале цветения продолжительность цикла меньше, а с началом завязывания плодов и в период плодоношения — еще короче.

На продолжительность циклов и ритмичность питания оказывает влияние температура в зоне листьев. Например, при температуре окружающего воздуха 28—30° температура воздуха вблизи листьев достигала 26—27,5°, и растения подвядали. Достаточно было с помощью шланга обрызнуть их водой из трубопровода, и состояние тургора почти восстанавливалось. Если температура воздуха в теплице снижалась до 18—20° и вместе с этим уменьшалась освещенность, состояние тургора вос-

становливалось, что обычно наблюдалось вечером, ночью и утром.

На основании этого нами установлены три экспозиции и изготовлен автомат с программным управлением (с тремя циклами): 12, 23 и 45 минут, с продолжительностью импульсов 5—7 секунд.

Биологическое обогащение питательного раствора и его значение

При воздушной культуре большое влияние на продуктивность растений оказывает биологическое обогащение питательного раствора путем добавления в него органических веществ и, в частности, взбродившего коровяка.

Влияние биологического обогащения питательного раствора на урожай огурцов сорта Клинский многоплодный видно из данных таблицы 6.

Водный питательный раствор, обогащенный органическими удобрениями и используемый для корневого питания на различных искусственных средах, повышает урожай, но не в одинаковой мере. На воздушной культуре прибавка урожая огурцов составила 42%, на водной — 23, на гравийной и гравийно-песчаной — в среднем около 21%.

Отзывчивость воздушной культуры на обогащение раствора органическими удобрениями объясняется повышением буферности питательного раствора и интенсивности микробиологических процессов (накопление нитратов, аммиачного азота), улучшением условий воздушного питания как для корневой системы, так и для зеленой листовой поверхности.

Таблица 6

Культура и сорт	Условия выращивания	Урожай (кг с 1 кв. м)		Разница в урожае (%)
		до обогащения питательного раствора (с 30/VI по 1/VIII)	после обогащения питательного раствора (с 1/VIII по 1/IX)	
Огурцы Сорт Клинский многоплодный	1. Почвенная смесь с основным удобрением и высокой агротехникой:			
	а) на двух опытных стеллажах (44 кв. м)	6,06	4,58	-25
	б) на хозяйственной площади посева	4,68	3,85	-17
	2. На воздушной культуре (44 кв. м)	4,45	6,35	+42,62
3. На водной культуре (44 кв. м)	1,71	2,11	+23,39	
4. На гравии (44 кв. м)	4,49	5,45	+21,40	

Изменение концентрации некоторых элементов в питательном растворе¹

Азот. В качестве источника азота для питания растений применялась мочевина — по 140 мг на литр раствора. С этим удобрением в условиях совхоза первоначально было проведено три опыта. Исходный раствор был

¹ Изучение динамики питательных веществ в растворе проводилось нами совместно с Ю. И. Шайдоровым.

одного и того же состава для всех опытов и приготавлился из следующих компонентов (в граммах на 1000 л воды):

Мочевина	300	Сернокислый марганец	0,5
Магний сернокислый	100	Сернокислый цинк	0,12
Калий сернокислый	800	Сернокислое железо	4,8
Суперфосфат (простой)	450	Сернокислая медь	0,64
Борная кислота	1,1	Серная кислота (86%)	3,5
			куб. см

Пробы питательного раствора отбирались один раз в сутки и анализировались на содержание фосфора, нитратов, азота по Кьельдалю (сумма аммиачного и мочевиного азота), калия. Ежедневно измерялась рН раствора.

Результаты анализов показали, что мочевина полностью исчезает из раствора на четвертые сутки опыта. Концентрация аммиачного азота в течение первых пяти суток опыта интенсивно увеличивается, а затем начинается некоторое снижение ее в растворе. Вслед за увеличением концентрации аммиачного азота увеличивается также концентрация нитратного азота, которая продолжает нарастать до последнего дня опыта. Подобные превращения одних форм азота в другие объясняются, очевидно, микробиологическими процессами, которые при воздушной культуре растений протекают весьма энергично в связи с хорошей аэрацией раствора и благоприятным температурным режимом.

Результаты анализов приведены в таблице 7.

Изменения концентрации различных форм азота, представленные в таблице, показывают, что, несмотря на различное исходное содержание мочевины в питательном растворе, характер изменения концентрации азота в различных формах остается одинаковым. Концентрация азота мочевины по 170 мг на литр в исходном растворе через двое суток упала до 80 мг на литр,

Таблица 7

Изменение концентрации различных форм азота в питательном растворе во времени

Дата взятия образцов (сентябрь)	Содержание азота (мг/л)				сумма
	NH ₂	NH ₃	NO ₂	NO ₃	
13	170	—	—	—	170
14	124	20	0,75	1,7	145,45
15	79,2	43	1,45	7,6	131,27
16	28,2	77,5	3	26,6	135,3
17	Отсутствует	83	3,7	39,6	126,3
18	То же	90	4	46,8	140,8
19	»	84	1	55	140
20	»	81	Следы	55	136
21	»	50	Отсутствует	64	114

а на четвертые сутки опыта мочевиный азот в питательной среде отсутствовал.

Концентрация аммиачного азота непрерывно росла. В исходном растворе на пятые сутки опыта она достигла 90 мг на литр. В последующие сутки концентрация аммиачного азота снижалась и на восьмые сутки опыта составляла 50 мг на литр раствора.

Концентрация нитратного азота повышалась непрерывно во все время опыта и за восемь суток возросла до 64 мг на литр раствора.

Нитритный азот в исходном растворе также отсутствовал. Накопление его в растворе шло вплоть до пятых суток опыта. После этого содержание его резко падает. На седьмые сутки нитритный азот полностью исчезает из раствора.

В одном из опытов была сделана попытка определить

суммарный вынос питательных веществ из раствора и расход воды на физическое испарение и транспирацию. Объем питательного раствора в баке ежедневно измерялся. Зная концентрацию отдельных элементов питания и объем раствора, было вычислено содержание элементов во всем объеме раствора на каждые сутки опыта. В результате было установлено, что на площади 12 кв. м, где размещалось 96 растений огурцов, расход раствора за сутки составлял в среднем 27 л.

Общее содержание различных форм азота во всем объеме питательного раствора в граммах на каждые сутки опыта представлено в таблице 8.

Таблица 8

Дата взятия образцов (сентябрь)	Количество раствора в баке (л)	Содержание во всем объеме раствора (г)				сумма
		мочевины	аммиака	нитратов	нитритов	
13	1022	174	—	—	—	174
14	994	123,8	19,5	1,7	0,75	145,75
15	966	72,5	41,5	7,4	1,4	122,8
16	940	29,9	73,1	25,2	2,81	131,01
17	912	Отсутствует	75,5	36	3,36	114,86
18	884	То же	79,3	41,2	3,52	124,02
19	856	»	71,8	46,8	0,86	119,46
20	830	»	67	45,5	Следы	112,5
21	800	»	40	51	Отсутствует	91

Как видим, на восьмые сутки опыта в питательном растворе содержались примерно равные количества аммиачного и нитратного азота и составляли около половины всего азота в исходном растворе.

Мочевина и нитриты к концу опыта в растворе не обнаружены.

В данном опыте определены концентрация и содержание отдельных форм азота в питательном растворе. В качестве источника азота использовалась мочеви́на, поэтому параллельно с поглощением азота корнями растений в виде той или иной формы шло образование из мочевины аммиака, нитритов и нитратов, что помешало в одном опыте проследить за тем, с какой скоростью шло поглощение азота разных форм.

Фосфор. Во всех опытах в качестве источника фосфора применялся суперфосфат, по 450 г или 34 г Р на 1000 л раствора. Как и при определении форм азота, определение концентрации фосфора в питательном растворе проводилось ежедневно.

Содержание фосфора в растворе по трем опытам приведено в таблице 9.

Таблица 9

Сутки опыта	Содержание фосфора в растворе (мг/л)			Суммарное содержание Р во всем объеме раствора (г)	Использовано Р всеми растениями за сутки (г)
	I опыт	II опыт	III опыт	III опыт	III опыт
0	35	28	52	53	—
1-е	29,8	30	48,5	47,2	5,8
2-е	24	27,3	41,2	39,6	7,6
3-и	21	23,5	38,6	36,3	3,3
4-е	19	21,2	37,7	34,4	1,9
5-е	18	20,1	37,2	33	1,4
6-е	Не определялось	Не определялось	38,4	32,8	0,2
7-е	17,6	19,3	38,6	32	0,8
8-е	—	—	36,9	29,5	2,5

Приведенные данные говорят о том, что концентрация фосфора в питательном растворе непрерывно падает, причем в первые трое-четыре суток уменьшение ее идет очень быстро,— в среднем по 4 мг Р на литр раствора в сутки. На пятые—седьмые сутки концентрация Р в растворе меняется незначительно.

Поглощение фосфора идет пропорционально его концентрации в растворе. Так, в первые сутки опыта поглощение фосфора из всего объема раствора всеми растениями составило 5,8 г, за вторые сутки — 7,6 г, за третьи сутки — 3,3 г и за четвертые сутки — меньше 2 г. Поглощение фосфора непрерывно падало, и только на восьмые сутки оно снова поднялось до 2,5 г.

Объяснить столь неравномерное изменение концентрации Р в растворе и поглощение во времени только исходной концентрации его, очевидно, нельзя. Если в первых двух опытах исходные концентрации были близки к 30 мг Р на литр раствора, то в третьем опыте исходная концентрация его составляла 52 мг в литре раствора. Характер же изменения концентрации Р во времени для всех трех опытов оставался одинаковым.

Возможно, такой характер изменения поглощения фосфора можно связать с концентрацией мочевины в питательном растворе и реакцией этого раствора. Концентрация мочевины, наиболее высокая в исходном растворе, на четвертые сутки падает до 0. В литературе имеются указания на то, что при внекорневых подкормках растений мочевиной более интенсивно идет поглощение азота и других элементов питания из почвы корнями. Можно предположить, что и в данном случае мочеви́на в какой-то мере стимулирует поглощение растениями фосфора из раствора. Вместе с тем рН раствора достигает своего максимума (7—7,3) на четвертые сутки опыта, после чего начинает резко падать и на седьмые-восьмые сутки может снизиться до 4,4.

При реакции среды, близкой к 4—4,5, растения, как правило, страдают от излишней кислотности раствора, что выражается нарушением обмена веществ в растении, поглощения отдельных элементов питания и, в частности, магния. Чтобы установить истинную причину подобногo изменения концентрации Р в растворе, необходимо провести опыты по специальной схеме.

Калий. Калий в питательный раствор вносился в виде сернокислой соли. Определение К проводилось на пламенном фотометре. Результаты анализа по трем опытам приведены в таблице 10.

Таблица 10

Сутки опыта	Содержание калия в растворе (мг/л)			Суммарное содержание К во всем объеме раствора (г)
	I опыт	II опыт	III опыт	
0	450	450	350	358
1-е	425	—	400	397
2-е	450	350	450	432
3-и	400	375	467	441
4-е	450	375	483	440
5-е	450	—	500	441
6-е	—	—	460	392
7-е	450	400	500	413
8-е	450	400	630	500

Как видим, в первом опыте концентрация К в растворе во все время опыта оставалась практически неизменной, т. е. поглощение калия шло пропорционально транспирации и составляло примерно по 1,3 г К в сутки из всего объема раствора всеми растениями.

Во втором опыте наблюдалась аналогичная картина.

В третьем опыте концентрация К в питательном растворе увеличивалась во времени. Суммарное содержание его во всем объеме раствора также увеличивалось. В данном опыте К совершенно не поглощался из раствора, а, наоборот, шло накопление его в питательном растворе. Мало вероятно объяснение этого явления выделением калия в раствор корнями растений. Возможно, что в отношении этого элемента недостаточно тщательно учтены некоторые моменты методического характера.

pH раствора. pH раствора измерялась методом Алямовского с универсальным индикатором. Во время опыта pH искусственно не поддерживалась на одном уровне, а изменялась во времени в зависимости от поглощения или накопления в растворе тех или иных ионов.

Значения pH раствора на каждые сутки по трем опытам приведены в таблице 11. (Независимо от величины pH исходного раствора изменение его во времени проходило однотипно во всех трех опытах.)

Таблица 11

Сутки опыта	pH раствора		
	I опыт	II опыт	III опыт
0	6,8	6,5	5,8
1-е . . .	7	6,6	Не определялась
2-е . . .	7,2	6,6	6,8
3-и . . .	7,1	7,2	7
4-е . . .	7	7,3	7
5-е . . .	6,4	7,3	6,6
6-е . . .	Не определялась	Не определялась	5,4
7-е . . .	5,4	5,3	4,9
8-е . . .	Не определялась	Не определялась	4,4

В первые четверо суток опыта наблюдалось подщелачивание раствора, и рН поднималась до 7—7,3. Объяснение этого явления можно найти в процессе превращения мочевины в аммиак. Накопление аммиака в растворе идет довольно интенсивно, что и может привести к подщелачиванию раствора. Возможно, что в этот период в растворе протекают и другие процессы, которые также влияют на сдвиг рН в сторону подщелачивания.

Начиная с четвертых—пятых суток опыта реакция раствора резко смещается в сторону повышения кислотности. Частично это объясняется уменьшением концентрации аммиака, но в основном подкисление, возможно, идет за счет физиологической кислотности сернокислых солей К, Mg и Ca и выделения самими растениями. Но и этот вопрос нужно решать постановкой специальных опытов.

Сроки замены и корректировки питательного раствора

Емкость поглощения или емкость выносов (количество того или другого элемента, поглощенного растением за единицу времени) связаны с обновлением раствора. В зависимости от емкости выносов элементов сроки обновления раствора наступают не в одно время.

Очень большие выносы, например, огурцами, наблюдаются по фосфору. За каждые сутки в наших условиях из раствора выносилось его 11—15%, азота же всего 5—6% наличия его в растворе.

В связи с неравномерностью выносов питательных элементов возникает необходимость обновления растворов, пополнения их элементами, наиболее активно используемыми растениями. Так, после приготовления свежего раствора или добавления мочевины в растворе

очень интенсивно происходит накопление нитритов, нитратов и аммонийного азота. Особенно быстро и в значительных количествах накапливаются два последних соединения, но на 3—5-й день из раствора исчезает мочевины. Добавление ее в раствор — необходимое условие нормального питания огурцов на воздушной культуре.

В период массового плодоношения огурцами выносятся много фосфора. После изготовления раствора в него уже на 4—5-й день следует добавлять фосфора 70—80% к первоначальному содержанию. Важно отметить и то, что после этого растения уже очень мало поглощают фосфора. На пятый день в растворе остается его около 40%, растение же выбирает всего лишь 9 мг, или в 5,5 раза меньше, чем в первые сутки, в 3,5 раза меньше, чем на третьи сутки и в 2 раза меньше, чем на четвертые сутки, т. е. поглощение фосфора растениями огурцов из питательного раствора прогрессивно уменьшается.

Вынос азота одним растением огурцов за сутки достигал 70—111 мг. Азот поглощается более равномерно. Отклонения достигают 30%.

Согласно данным литературы, в период плодоношения на гидропонике параллельно фосфору интенсивно поглощается и калий. Но смену калия в растворе следует проводить реже.

На основании данных исследований, в период вегетации до плодоношения отношение азота, фосфора и калия должно изменяться. Вначале растения требуют больше азота, затем на первое место выступают фосфор и калий. В период плодоношения количество фосфора в растворе должно увеличиваться. Количество граммов соли, необходимое для получения 1 г питательного элемента, показано в таблице 12.

Таблица 12

Содержание действующего начала в питательных солях
(по В. А. Чеснокову¹)

Наименование солей	Молекулярный вес	Действующее начало	Навеска (г) для получения 1 г действующего начала
Аммоний азотнокислый NH_4NO_3	80	N_{NH_4} N_{NO_3}	2,8 2,8
Аммоний сернокислый $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	132	N_{NH_4}	4,7
Аммоний фосфорнокислый од- нозамещенный $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	115	N_{NH_4} P	8,2 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 KNO_3	101	K N_{NO_3}	2,6 2,7
Калий марганцовокислый KMnO_4	158	Mn	2,87
Калий сернокислый K_2SO_4 . .	174	K	2,2
Калий фосфорнокислый одно- замещенный KH_2PO_4 . . .	136	P K	4,4 3,5
Калий хлористый KCl	75	K	1,9
Калий азотнокислый $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	226	Ca N_{NO_3}	5,9 8,4

Продолжение

Наименование солей	Молекулярный вес	Действующее начало	Навеска (г) для получения 1 г действующего начала
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 безвод- ный MgSO_4	120	Mg	5
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 NaNO_3	85	N_{NO_3}	6
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

¹ Таблица составлена для действующего начала химически чистых солей; при работе с техническими солями следует внести поправки согласно паспорту продукции или на основании собственных анализов. Подробное описание этих вопросов дает профессор В. А. Чесноков в сборнике «Выращивание растений без почвы» (стр. 57—59). Издательство Ленинградского университета, 1960.

Техника приготовления питательного раствора

В процессе приготовления раствора можно наблюдать, что коэффициент растворимости питательных веществ, входящих в него, увеличивается с повышением температуры. Поэтому растворы нами готовят в горячей воде.

Питательный раствор лучше готовить в определенной последовательности. Вначале отвешиваются и растворяются отдельно основные удобрения: суперфосфат, калийная соль, а также содержащие азот и магний. Затем следуют микроэлементы.

Основные удобрения (макроэлементы) растворяются каждый в отдельности и сливаются в бак.

Микроэлементы отвешивают и всыпают один за другим в литровую колбу, на четверть объема наполненную кипящей водой. После этого колбу доливают водой, раствор размешивают и выливают в бак с раствором основных элементов. Содержимое бака перемешивается смесителем, и после этого питательный раствор считается готовым для опрыскивания корневой системы и листьев воздушных культур.

В ходе использования питательного раствора растения выносят питательные вещества, и если своевременно не пополнить ими раствор, то у растений на воздушной культуре могут проявиться признаки голодания. (Для корректирования определяется рН раствора.)

Определение потребности в элементах питания по внешним признакам растений

Недостаток или избыток какого-либо питательного элемента отрицательно влияет на рост стеблей и листьев, на плодоношение. Он проявляется на листьях, кор-

невой системе, репродуктивных органах растений, определяется визуально или путем исследования сока растений. Внешние признаки растений служат сигналом, показателем состояния условий роста и развития растений. При недостатке питательных веществ в среде, окружающей корень, начинает снижаться содержание их во всем растении. Азот, фосфор и калий из старых частей растения начинают передвигаться в более молодые. Поэтому под влиянием измененного обмена веществ признаки голодания начинают проявляться раньше в старых частях растений, а затем распространяются на листья средних ярусов. Позднее при недостатке этих и некоторых других элементов питания, например кальция и серы, признаки голодания проявляются и в верхних, самых молодых частях растения.

Чаще всего у растений наблюдаются признаки недостатка азота, фосфора и калия, значительно реже — магния, серы, кальция и микроэлементов. При сдвиге рН в щелочную сторону могут появиться признаки недостатка железа, так как последний выпадает в осадок.

Ниже приводится описание внешних признаков голодания растений, которые могут служить ориентиром для распознавания симптомов недостатка отдельных питательных веществ в среде, окружающей корни, и в самих растениях. У разных культур эти симптомы могут проявляться в различной степени и варьировать, особенно при сочетании недостатка двух или нескольких элементов. Зная действие того или иного химического элемента на растение, мы можем своевременно устранять недостатки питательного раствора, тем самым способствовать росту и развитию растений в процессе вегетации.

**Внешние признаки недостатка питательных веществ в растении
(по Эллису и Сваней, 1953)**

Недостающий
элемент
питания

I. Симптомы голодания проявляются на взрослых листьях

1. Повреждение распространено по всему растению:

а) растения чахлые, светло-зеленые; цвет более старых листьев от желто-зеленого до желтого; на более поздних стадиях листья становятся коричневыми, высыхают;

б) растения чахлые, листья ненормально темно-зеленые, обычно с черенками, прикрепленными к стеблю под острым углом; часто на листьях и стеблях наблюдается красноватая или пурпурная пигментация; иногда у более старых листьев наступает хлороз (побледнение листьев в результате разрушения хлорофилла).

2. Повреждение местное (на листьях появляются пятна):

а) на концах и краях более старых листьев начинается хлороз, который распространяется между жилками и сопровождается образованием коричневых пятен с последующим выпадением тканей; листья искривлены и скручены, что наиболее резко выражено на ранних стадиях;

б) хлороз начинается между жилками более старых листьев или листьев средних ярусов; листья становятся желтыми или почти белыми, но жилки обычно остаются зелеными; отмирания листьев не наблюдается.

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.

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;

б) хлороз начинается с основания и краев молодых листьев, за ним следует некроз; листья искривляются, при более сильном голодании верхушечные почки чернеют, ослизняются, отмирают;

в) хлороз верхних листьев, верхушечные почки отмирают и приобретают коричневый или черный цвет; корни короткие, утолщенные, ослизненные.

Б. Ткань не некротическая:

а) хлороз начинается между жилками молодых листьев; жилки сначала остаются зелеными, а потом весь лист желтеет или белеет;

б) у растений наблюдается привядание верхушек, у молодых листьев можно наблюдать хлороз.

Сера.

Марганец.

Бор.

Кальций.

Железо.

Медь.

У растений могут проявляться также признаки избытка тех или иных элементов, симптомы отравления. Однако явления минерального отравления пока изучены недостаточно.

**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 ненормальное свертывание

вание и сморщивание молодых листьев; на поздних стадиях роста концы листьев втянуты и отмирают, особенно при ясной погоде;

б) общее пожелтение лисгвы; концы и края более старых листьев позднее становятся желтоватыми или коричневыми; появляются яркие некротические пятна; листья опадают; у некоторых растений явление сходно с калийным голоданием, у других — с избытком азота.

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;

б) общее огрубение растений; листья мелкие, синевато-зеленого цвета, стебли твердые; позднее листья могут скручиваться внутрь и покрываться наростами; края листьев становятся коричневыми, затем бледно-желтыми;

и) на ранних стадиях наблюдается слабый рост, удлинение междоузлий, светло-зеленая окраска листьев; на поздних стадиях рост замедляется, на листьях появляется пятнистость, похожая на мозаику, затем — матовые пятна; листья вянут и опадают.

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);

б) хлороз развивается между жилками, пятна становятся беловатыми и некротическими, могут стать окрашенными или на них появляются наполненные водой концентрические кольца; у некоторых растений происходит усиленный рост листовых розеток, а побеги отмирают, теряя листья (повреждение сходно с недостатком магния у одних и с недостатком железа у других растений);

Магний.

Фосфор.

Хлор.

Сульфат.

Калий.

Азот аммонийный
и азот нитратный.

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;

г) у некоторых растений вдоль основных жилок, остающихся зелеными, появляются прозрачные участки, наполненные водой; развивается хлороз между жилками, позднее появляется коричневое окрашивание; листья становятся коричневыми, опадают;

д) хлороз нижних листьев, сопровождающийся появлением коричневых пятен, затем опадением листьев.

II. Первые признаки повреждения молодых листьев

1. Повреждение распространено по всему растению.

Ткань некротическая:

а) хлороз листьев; молодые листья становятся желтыми; верхушечные почки отмирают; более старые листья могут опадать без увядания; жилки их окрашиваются в красный или черный цвет (на ранних стадиях повреждение сходно с недостатком железа).

2. Повреждение местное.

А. Ткань некротическая:

хлороз развивается между жилками молодых листьев, которые становятся желтыми или беловатыми с темно-коричневыми или почти белыми некротическими пятнами; листья искривляются и сморщиваются (в этом основное отличие избытка элемента от голодания).

Б. Ткань не некротическая:

а) хлороз развивается между жилками молодых листьев; жилки остаются зелеными; позднее весь лист становится желтым или беловатым; явление сходно с голоданием;

б) хлороз молодых листьев, жилки остаются зелеными.

Бор.

Цинк.

Медь.

Цинк.

Марганец.

Железо.

Медь.

В практических условиях часто избыток ионов одного элемента вызывает у растения развитие симптомов, сходных с симптомами недостатка другого элемента. В таких случаях химический анализ листьев помогает выяснить настоящую причину появления признаков. В ряде случаев при этом требуется тщательное промывание корней водой и приготовление свежего раствора. Если через несколько дней симптомы исчезнут, растения действительно испытывали токсикоз.

В процессе вегетации у растений помидоров и огурцов при воздушной культуре наблюдаются и так называемые физиологические нарушения, которые проявляются в ряде злокачественных явлений. К ним относится диспропорция между товарной и нетоварной частями урожая (измельчание большей части плодов), у помидоров почернение верхней части плодов и отмирание клеток ткани (вершинная гниль), растрескивание и разного рода пятнистость плодов и другие явления. Их можно объяснить несоответствием между требованием растений, факторами микроклимата и питательными веществами в растворе.

Наблюдение за внешним изменением органов растений не всегда дает точное представление о причинах появления тех или иных отрицательных признаков. Необходимо сделанные заключения по ремонту или замене раствора проверять время от времени химическими анализами.

Рекомендации по «ремонту» водного питательного раствора

Чтобы устранить недостаток тех или иных элементов в питательном растворе, выявленный путем изучения признаков голодания растений на воздушной культуре овощей, рекомендуется производить «ремонт» раствора

добавлением следующих количеств питательных веществ (из расчета на 1000 л раствора).

Недостаток азота восполняется добавлением 75—100 г натриевой селитры (NaNO_3), а при благоприятном освещении— 50—100 г мочевины или аммонийной селитры (NH_4NO_3).

При недостатке калия в раствор добавляют 100—150 г сернокислого калия (K_2SO_4). Если у растений одновременно наблюдается и недостаток азота, в раствор добавляется такое же количество калийной селитры (KNO_3). При фосфорно-калийном голодании растений в питательный раствор добавляют 100—150 г фосфорнокислого калия.

При недостатке фосфора в готовый раствор добавляют от 50 до 100 г фосфорнокислого натрия, при одновременном недостатке и калия— такое же количество фосфорнокислого калия. При одновременном недостатке фосфора и азота и благоприятном освещении к раствору добавляют 50—100 г фосфорнокислого аммония, обращая при этом особое внимание на pH раствора.

При недостатке кальция в питательном растворе повышают содержание азотнокислого кальция путем внесения его по 100—150 г на 1000 л раствора. Если при этом возникает опасность появления излишка азота, то вместо азотнокислого кальция рекомендуется употребить необожженный гипс или окись кальция в таком же количестве.

При недостатке железа в раствор прибавляют 3—5 г хлорного или 1,5—2,5 г сернокислого железа.

При недостатке марганца в раствор добавляют 0,1—0,2 г марганцового купороса ($\text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$); если при этом возникает опасность появления излишка серы, в раствор добавляют 0,1—0,2 г двуххлористого марганца (MnCl_2) или сернокислого марганца (MnSO_4).

Недостаток серы компенсируется добавлением 2—4

куб. см серной кислоты. При одновременном недостатке магния, железа или калия к раствору добавляют 50—100 г магнeзии ($MgSO_4$) или сульфата калия (K_2SO_4).

При недостатке бора в питательный раствор прибавляют 0,1—0,3 г борной кислоты.

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И ВОЗДУШНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ ЛИСТЬЯМИ

При воздушной культуре корни растений находятся в полном пространстве закрытых стеллажей или углубленных котлованов. Здесь вместо твердых субстратов или раствора — полное пространство, заполненное атмосферным воздухом, который имеет определенный состав, обладает свойствами, подчиняющимися основным физическим законам.

Воздух представляет смесь газов, в которой содержится 21% кислорода и 78% азота по объему или 23% кислорода и 75,5% азота по весу. Остальное составляют углекислый газ (около 0,03% по объему) и некоторые другие газы (неон, криптон, ксенон, гелий, водород). В воздухе также содержится около 0,84% водяных паров и другие примеси.

Состав воздуха остается относительно постоянным, несмотря на то, что в природе существуют процессы, сопровождающиеся поглощением кислорода и выделением других газов (горение, дыхание животных и растений, вулканическая деятельность). Параллельно с поглощением кислорода в природе существуют и прямо противоположные этому процессы: поглощение углекислого газа и выделение кислорода (разложение углекислого газа (CO_2) растениями при участии хлорофилла и под влиянием солнечной энергии). Эти процессы взаимно

уравновешиваются (по крайней мере, за последние 100 лет исследованиями не обнаружено заметного изменения в составе воздуха).

Постоянные воздушные течения обуславливают перемешивание воздушных масс, а следовательно, и однородность состава атмосферного воздуха.

Воздух — бесцветный газ (в больших массах имеет голубой цвет) без запаха и вкуса. Плотность его 14,435 по отношению к водороду. Плотность воздуха (состоящего только из кислорода, азота, аргона и лишнего влаги, пыли и прочих примесей) принимается за единицу (для сравнения). Кубический метр такого воздуха при 0° и 760 мм давления весит 1,29 г (в Ленинграде; вес воздуха, как известно, меняется в зависимости от географического положения места, где производится измерение).

При воздушной культуре овощей в теплице большое значение имеет нормальное содержание в воздушной среде кислорода (O_2) и углекислого газа (CO_2). Кислород используется организмами при дыхании, поддерживает горение, входит в состав множества химических соединений.

Все виды соединения тел с кислородом обобщаются одним понятием — окисление.

Углекислый газ (угольный ангидрид, углекислота, двуокись углерода) обуславливает круговорот веществ в природе: зеленые части растений при помощи солнечной энергии разлагают углекислоту воздуха, усваивают углерод и выделяют обратно в атмосферу кислород (фотосинтез). Углерод в растениях участвует в создании органических соединений, которые в виде пищи служат единственным источником поступления необходимых углеродистых веществ в организмы животных и человека. В живых тканях организмов при дыхании происходят окислительные процессы, в результате которых в воздух

обратно выделяется углекислый газ. Этот процесс сопровождается выделением тепла.

Тепло это, являющееся результатом окисления углеводов тканей, дает организму необходимую ему «животную теплоту». При разложении углекислоты в растении солнечная энергия восполняет потерянную при образовании ее теплоту; она превращается в химическую энергию выделяющихся углерода и кислорода. Углерод снова идет на образование соединений, на горение и опять выделяется энергия в виде тепла и т. д. Превращение солнечной энергии в химическую, а последней в другие виды энергии и составляет основу жизни всякого организма.

Углекислый газ — бесцветный газ, в полтора раза тяжелее воздуха. Плотность CO_2 по водороду равна 22. Пользуясь свойством сгущаться и большим удельным весом CO_2 , его можно переливать из одного сосуда в другой, подобно жидкостям. Углекислый газ легко растворяется в воде; в одном объеме воды при 0° растворяется 1,8 объема CO_2 . С повышением температуры растворимость углекислого газа уменьшается, а с повышением давления — увеличивается.

Углекислый газ — один из наиболее легко сгущаемых газов. В жидком состоянии он кипит при -79° и нормальном давлении. При температуре выше 31° (критическая температура) CO_2 из жидкого состояния переходит в газообразное.

Жидкий CO_2 хранится в специальных баллонах. При выливании из баллона он частично улетучивается в воздух, а оставшийся в баллоне охлаждается и застывает в рыхлую снегообразную массу, которая возгоняется, не плавясь.

Твердый CO_2 тяжелее воды; удельный вес его 1,2. Углекислый газ не горит и не поддерживает горения. Растения и животные в атмосфере CO_2 умирают.

Как и поглощение, выделение углекислоты является функцией не только листьев, но и корней растений. Чтобы устранить накопление его в зоне корней, необходим постоянный обмен воздуха во всех точках соприкосновения его с растением. Для листьев растений это выполняется действием ветра и воздушных течений. Среди корней процессы вентиляции более сложны. Но, несмотря на это, воздух в корнеобитаемом слое должен возобновляться, по возможности, часто.

Составные части воздуха, которые используются растениями, отличаются между собой по значению их для жизни и по удельному весу. Знание удельных весов газов позволяет создавать определенные питательные режимы при выращивании растений в воздушной среде.

Таблица 13

Удельный вес газов (плотность)

	При 0° и 760 мм давлени- я относительно воды (вес 1 см ³ в грам- мах)	Относительно воздуха при одинаковой температуре и давлении
Воздух	0,001293	1
Кислород	0,00143	1,1052
Азот	0,00125	0,9701
Аргон	0,00178	1,379
Водород	0,0000895	0,0692
Углекислый газ	0,001965	1,52
Водяной пар	—	0,622

Кубический метр воздуха весит 1,293 г. Остальные же газы весят во столько раз больше или меньше, во сколько раз они при одной и той же температуре и давлении тяжелее или легче относительно воздуха. Напри-

мер, 1 куб. м углекислого газа в 1,52 раза тяжелее воздуха.

Способ импульсного питания корневой системы при воздушной культуре растений позволяет изменять концентрацию CO_2 , а также нормировать и воздушное питание, т. е. создавать требуемые концентрации CO_2 в связи с температурой воздуха в теплице, в стеллажах и углубленных траншеях.

Свойства воздушной среды можно видеть в сравнении со свойствами других сред. Например, в природе вещей существуют три состояния: твердое, жидкое и газообразное. Состояние твердой среды — характеризуется самым малым движением частиц, так как в твердых телах частицы, составляющие их, наиболее сближены между собой и наименее активны.

Состояние жидкой среды отличается более быстрым движением частиц, и чем выше температура, тем быстрее движение молекул. Состояние жидкой среды зависит и от давления, увеличение которого затрудняет, а уменьшение облегчает передвижение молекул, а следовательно, и переход жидкостей в пар.

Воздушная среда, ее состояние, в отличие от предыдущих, характеризуется большой скоростью прямолинейного движения частиц, составляющих ее, настолько большой, что частицы лишь на очень короткое время, при столкновениях, попадают под взаимное влияние. Сталкиваясь друг с другом и меняя каждый раз свое направление, газовые частицы летят дальше, стремясь занять возможно больший объем, пока не встретится преграда в виде какой-нибудь оболочке, корешков, стенок стеллажа, теплицы и т. п. Газовые частицы воздушной среды, сталкиваясь между собой в невообразимом хаосе, ударяются о ткани развивающихся корешков, воздействуя на них в определенном направлении, создавая определенное давление. Благодаря этой способности к

быстрому передвижению газовые частицы заполняют пустые стеллажи и углубленные котлованы с одинаковой во всех точках плотностью (если только не существует какого-либо внешнего препятствия).

Изучив влияние температуры, давления и влажности на состояние газовых частиц, воздушной средой можно управлять в соответствии с требованиями растений и другими факторами, необходимыми в процессе роста и развития растений.

Воздушная среда во много раз легче других сред.

Это свойство воздушной среды и определяет направленность конструирования, строительства и оборудования теплиц для аэропоники. Конструкции должны быть из легких синтетических, химически стойких и водонепроницаемых материалов. Они долговечны и недороги.

В процессе изучения воздушной среды установлено, что овощные культуры (помидоры, перцы, баклажаны, огуречные растения) в теплицах до определенного предела уменьшают или увеличивают урожай в точной пропорции к сокращению или увеличению доступа углекислого газа и кислорода в зоне корнеобитания и в зоне листьев.

Воздушное питание зеленых листьев и корней растений находится под влиянием внешних условий. Оно пропорционально плотности воздуха и обратно пропорционально увеличению его объема, зависит от содержания CO_2 в воздухе, от степени освещенности растений, температуры в зоне корней и листьев, минерального питания корневой системы. Это положение вытекает из большого количества данных, полученных нами графическим анализом, по разности температур и данных об изменении свойств воздуха.

Интенсивность фотосинтеза совместно с нами изучалась старшим научным сотрудником лаборатории, руко-

водимой профессором А. П. Клешниним, методом отсасывания воздуха. Определение проводилось у растений огурцов, выращиваемых на воздушной культуре и на почвенной смеси. Результаты анализов, в сравнении с почвенной культурой огурцов, приводятся в таблице 14.

Данные наблюдений показывают, что интенсивность фотосинтеза листьев, а также содержание CO_2 в воздухе в зоне корней зависит от величины полого пространства стеллажей или котлованов. Интенсивность фотосинтеза у растений огурцов, выращиваемых на почве, значительно ниже, чем у растений, выращиваемых на воздушной культуре.

Эти данные имеют большое теоретическое и практическое значение для управления воздушным питанием растений. Создавая необходимые внешние условия для продуктивной работы растения, можно получать высокие урожаи дешевых овощей в теплицах.

УГЛЕКИСЛОТНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ КОРНЯМИ

Углекислотное питание растений через корни изучено еще недостаточно. Академик А. Л. Курсанов пишет, что центральным физиологическим процессом, в конечном счете определяющим размеры урожая, является фотосинтез, т. е. процесс образования органических веществ из углекислоты и воды с помощью энергии солнечного света, поглощаемой хлорофиллом растений. Хлорофилл обеспечивает свою работу за счет CO_2 , поступающей через корни и через листья.

Вначале вопрос углекислотного питания растений изучался под углом зрения «воздушного питания», без учета поступления CO_2 или карбонатов из почвы через

Таблица 14
Определение интенсивности фотосинтеза в теплице овощного комбината совхоза «Марфино» на огурцах, выращиваемых на воздушной культуре и на почве в 1961 г. (день солнечный, растения слабые, частично пораженные мучнистой росой)

Название варианта	Время проведения опыта (час — минуты)	Экспозиция (минуты)	Номер пробирки		Температура раствора (градусы)	рН раствора		Интенсивность фотосинтеза ($\text{мг CO}_2/\text{дм}^2$ час)
			опыт	контроль		опыт	контроль	
Воздушная культура Высокие стеллажи	9—45	20	18	17,2	25,5	0,527	0,572	4,5
	10—05	21	20	19	26	0,422	0,471	4,9
	10—36	20	20	19	26,5	0,427	0,477	6
То же	10—47	21	18,6	17	28	0,516	0,617	10,1
	11—07	22	17,5	16	27,5	0,578	0,683	10,5
	14—20	20	14,5	18	27,5	0,811	0,546	26,5
Низкие стеллажи	14—41	19	15,3	17	26,5	0,627	0,599	12,8
	14—52	20	17,4	17	26	0,557	0,581	2,4
	15—14	20	16,3	16	24	0,607	0,629	2,2
То же	15—20	20	14,5	18	27,5	0,811	0,546	26,5
	15—40	19	15,3	17	26,5	0,627	0,599	12,8
	16—04	20	17,4	17	26	0,557	0,581	2,4
Средние корни высокого стеллажа	16—37	20	16,3	16	24	0,607	0,629	2,2
	16—45	20	16,3	16	24	0,607	0,629	2,2
	17—05	20	16,3	16	24	0,607	0,629	2,2

корневую систему. Между тем бурный рост растений и получение высоких урожаев нельзя объяснить только питанием растений за счет наличия CO_2 в воздухе в количестве 0,03%. Это особенно наглядно подтверждается при выращивании растений без субстратов — в воздушной среде.

В 1951 г. А. Л. Курсанов, Н. Н. Крюкова и Б. Б. Вартапетян приступили к изучению процессов поступления углекислоты в растения и через корневую систему. Опыты показали, что 25—30-дневные растения фасоли, погруженные корнями в раствор с добавлением небольшого количества $\text{CaNC}^{14}\text{O}_3$ (углекислый кальций, содержащий меченый атом углерода C^{14}), воспринимают карбонат и проводят его в листья и другие органы, где на свету образуются продукты ассимиляции и, в частности, сахара, содержащие меченый углерод C^{14} .

Изучение засасывания воды корнями вместе с CO_2 или карбонатами показало, что поступление CO_2 через корни — самостоятельный процесс, не связанный с засасыванием воды. Карбонатов из водных растворов поглощается значительное количество, но свободного CO_2 еще больше.

После соприкосновения корней с карбонатом и в особенности с углекислым газом изотоп углерода обнаруживается в верхней паре листьев, т. е. на расстоянии 18—20 см от корней, уже через несколько минут.

В процессе передвижения CO_2 скопляется и в освещенном зеленом стебле (перехватывается), не достигая листьев. При затенении же стеблей карбонаты или CO_2 беспрепятственно минуют его, устремляясь главным образом в еще не вполне раскрывшуюся верхнюю пару листочков, и лишь позднее начинают накапливаться и в расположенных ниже взрослых листьях.

Освещение листьев резко усиливает накопление углекислоты, поглощенной из раствора, во всех органах

растения, в чем следует видеть характерное проявление корреляции между деятельностью листьев и корневой системы. На 100 кв. см листьев за час поднимается от 3 до 5 мг CO_2 , что составляет четверть того количества, которое поглощается листом при хорошем фотосинтезе из воздуха (Доклады АН СССР. Новая серия, 1962 г., т. XXXV, № 4, изд-во АН СССР, стр. 913—916).

С развитием корневой системы увеличивается и поглощающая поверхность корней, при этом в балансе воздушного питания возрастает и количество поглощенной корнями CO_2 , что положительно сказывается на продуктивности растений. Это подтверждается в практике выращивания овощных растений методом воздушной культуры и важно для овощеводства без субстратов.

Наукой установлено, что углекислота, поступающая из раствора, уже в корнях, при полном отсутствии света, очень быстро входит в состав некоторых органических соединений и поступает в другие органы растения. Органические вещества с вошедшим в их состав меченым углеродом обнаруживаются не только в корнях, но и в остальных частях растения.

При избыточном поступлении углекислоты подвижные органические соединения, в состав которых входит углекислота, передвигающаяся из корня, не накапливаются в листьях, а быстро расщепляются с освобождением углекислоты, которая выделяется наружу. Таким образом происходит двухстороннее поглощение CO_2 растением — зелеными листьями и корнями. В зависимости от внешних условий, фазы роста и стадии развития, от состояния самого растения CO_2 имеет восходящие (от корня в листья) или нисходящие (от листьев в корень) токи.

Данные анализа показывают, что перемещение углекислого газа от корней к листьям может происходить

в момент наступления минимума в зоне листьев, а затем происходит обратный процесс. Шестидневные растения фасоли этим путем за 2 часа подняли к листовым пластинкам около 1 мг CO_2 на свету и около 2,4 мг в темноте. В пересчете на 100-кв. см листовой поверхности за час это составит от 2 до 5 мг CO_2 , что может покрыть существенную долю производительности листа. Можно предположить, что при определенных условиях подача углекислоты через корни может подавлять восприятие ее листьями из воздуха, а в некоторых случаях даже превосходить ассимиляционную способность листьев (Доклады АН СССР. Новая серия. 1953 г., т. XXXVIII, № 5, изд-во АН СССР. Член-корреспондент АН СССР А. Курсанов, Н. Н. Крюкова и М. И. Пушкарева).

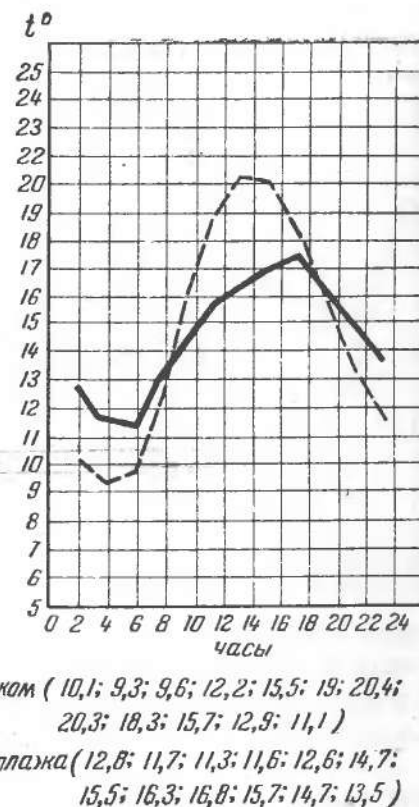
Эти и многие другие данные, а также личные наблюдения автора за характером минерального и воздушного питания в дневное и ночное время позволяют подойти к определению норм и способов воздушного питания растений в защищенном грунте и, в частности, при импульсном питании растворами в условиях воздушной культуры.

АГРОТЕХНИКА ВЫРАЩИВАНИЯ ОВОЩЕЙ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ

Температурный режим в зоне листьев и корней

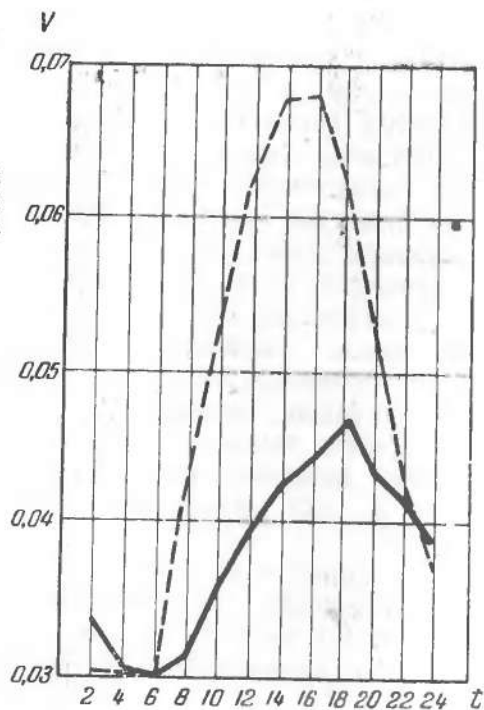
В условиях воздушной культуры наблюдается большое различие в уровнях температуры в зоне корней и зоне листьев (рис. 9). В связи с колебаниями температуры наблюдаются изменения в объеме и плотности воздуха (рис. 10 и 11). Среди листьев над крышкой стелла-

Рис. 9. Изменение температуры в зоне корней и листьев в разное время суток при воздушной культуре огурцов.



жа температура начинает меняться еще до восхода солнца. По мере его восхождения над горизонтом в зоне листьев она повышается быстрее, чем в зоне корней, причем внутри стеллажа минимум температуры среди корней выше, а максимум ниже, чем среди листьев. Наблюдения показали, что чем больше разница между температурой воздуха среди листьев и температурой воздуха среди корней, тем сильнее и в большей мере увядают растения.

Рис. 10. Изменение объема воздуха в зоне листьев и корней огурцов в связи с изменением температуры.

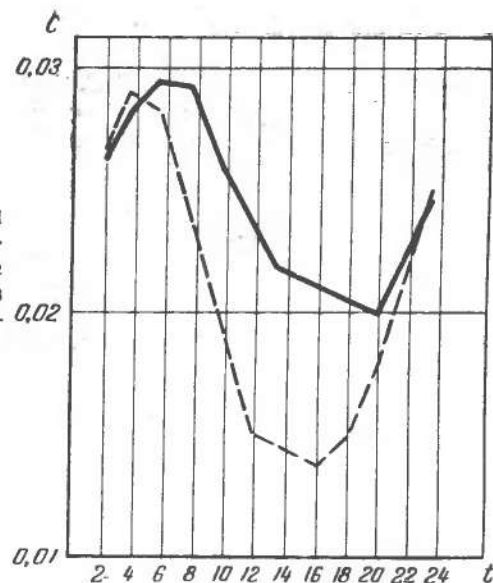


--- Над стеллажом (0,0303; 0,03; 0,0302; 0,0411; 0,0514; 0,0624;
0,0672; 0,0673; 0,0623; 0,0516; 0,0427; 0,0362)

— Внутри стеллажа (0,0335; 0,0305; 0,03; 0,0311; 0,0344; 0,0387;
0,0417; 0,0437; 0,0451; 0,0422; 0,0394; 0,0363)

Максимальная температура среди листьев над стеллажами наступала в 12—14 часов, среди корней внутри стеллажа — в 18 часов. Минимальная температура среди листьев была 9,3, среди корней — 11,3°, максимальная соответственно — 20,4 и 16,8°. Над стеллажами средняя максимальная температура за период наблюдения была на 3,6° выше, чем внутри стеллажа. Темпера-

Рис. 11. Изменение плотности воздуха и ухудшение углекислотного питания в зоне листьев и корней огурцов в связи с изменением температуры.



--- Над стеллажом (0,0269; 0,0293; 0,0283; 0,0235; 0,0190; 0,0150;
0,0140; 0,0139; 0,0147; 0,0178; 0,0213; 0,0247)

— Внутри стеллажа (0,0266; 0,0286; 0,0296; 0,0291; 0,0265; 0,0236;
0,0216; 0,0207; 0,0200; 0,0198; 0,0226; 0,046)

тура воздуха в теплице достигает 30° и выше, температура раствора 22—24°.

Вместе с изменением температуры меняется характер физиологических процессов, протекающих в растениях.

Регулирование условий роста и развития корней

Транспирация у растений особенно усиливается в середине дня и к вечеру. В это время они уже не могут через корни восполнить расход воды, вызываемый ис-

парением листовой поверхностью. Чтобы уменьшить испарение и избежать увядания листьев, необходимо снизить температуру и повышать относительную влажность воздуха, устраняя действие прямых лучей. Последнее легко достигается забеливанием стекол путем опрыскивания раствором, содержащим мел. Повышение влажности воздуха в зоне стеблей и листьев растений достигается поливом водой крышек стеллажей, площади проходов между ними и подстеллажного пространства. Этот несложный, но важный прием надо повторять в течение дня по мере подсыхания названных поверхностей. Поливом всех дорожек и подстеллажного пространства можно повысить влажность воздуха до 80—90%. Повышение влажности необходимо сопровождать улучшением воздушного питания растений, искусственным путем увеличивая содержание CO_2 в теплице.

Сочетание повышенной влажности с температурой, близкой к температурному максимуму ассимиляции, и усиленный воздухообмен повышают жизнеспособность растений, устойчивость их против заболеваний, способствуют повышению урожая.

Применение различных способов импульсного питания

Неоспорима зависимость количества получаемого урожая от степени развития, продуктивности и состояния корневой системы растения. Е. Н. Базириной при изучении поглощения корневой системой кислорода установлено, что корень с сухим весом около 1,5 г поглощает в среднем 8—9 мг кислорода за час. Естественно, что чем лучше развитие и более продуктивно работает корневая система, тем больше она будет поглощать кислорода и CO_2 из воздуха. Наблюдениями в теплицах совхоза

«Марфино» установлено, что корневая система воздушных культур развивается сильнее, чем у растений, выращиваемых на различных заменителях почвы. Отмытые корни 10 растений огурцов сорта Клинский многоплодный и помидоров доводились до воздушно-сухого состояния, а затем взвешивались. Данные трехкратного взвешивания обработанных таким путем в лабораторных условиях корней показывают, что импульсное питание, связанное с свободным доступом воздуха, оказывало положительное влияние на развитие корневой системы у растений огурцов и помидоров и других культур. При этом установлено, что немаловажное значение имеет и способ импульсного питания корней. Результаты исследования показаны в таблице 15.

Таблица 15

Средний вес воздушно-сухого корня огурцов и помидоров

Культура, сорт	Варианты опыта	Дата третьего взвешивания	Вес среднего корня (г)
Огурцы, Клинский многоплодный	Воздушная культура	} 26/XII	6,875
	Мелкий гравий		4,897
	Гравийно-песчаная смесь		1,453
	Водная культура		1,350
Помидоры, Грунтовой Грибовский	Воздушная культура	} 28/XII	4,215
	Водная культура		2,963
Огурцы, Клинский многоплодный	При импульсном питании корней с помощью: тройных форсунок круглых форсунок (грибок)	} 28/XII	9,448
	без форсунок		5,542
			8,635

Освещенность в зоне корней

Влияние степени освещенности корневой системы на продуктивность растений изучалось на стеллажах с водной и воздушной культурами. Вместо крышек стеллажи покрывались прозрачной полиамидной пленкой с планками шириной 10—12 см. По краям планок находились отверстия для стаканчиков, в которые высаживались растения. Через пленку корни растений огурцов освещались внутри стеллажа. За контроль были взяты растения, выращенные без пленки, под деревянной, облицованной битумом крышкой.

В этих условиях проведены биометрические измерения и подсчеты образовавшихся первых мужских и женских цветков по 10 растениям в каждом варианте (табл. 16).

Таблица 16

Влияние освещенности в зоне корневой системы на развитие огурцов сорта Клинский многоплодный

Варианты опытов	Дата замеров растений и подсчета цветков	Высота растений (см)	Количество цветков (в среднем на одно растение)	
			мужских	женских
Корни, освещенные через пленку, на водной культуре	26/V	18,2	4,9	1,1
Корни на водной культуре в темноте	26/V	16,5	4,5	4,2
Корни, освещенные через пленку, на воздушной культуре	28/V	26,6	11	0,9
Корни на воздушной культуре в темноте	28/V	22,1	8,2	1,3

Данные таблицы показывают, что темпы роста растений огурцов на воздушной культуре выше, чем на водной. Освещенность в зоне корней способствует образованию преимущественно мужских цветков.

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

1. При выращивании растений методом воздушной культуры корневая система должна размещаться в темноте.

2. Деятельность корневой системы огурцов оказывает влияние на характер прохождения репродуктивной фазы у растений.

3. На воздушной культуре факторами условий микроклимата можно до некоторой степени управлять полом растений.

Воздушная подкормка корневой системы углекислым газом

Использование свойства растений поглощать корневой системой CO_2 из воздуха представляет научный и практический интерес. В теплице совхоза «Марфино» на воздушной культуре огурцов сорта Клинский многоплодный нами проводилась воздушная подкормка корневой системы в период плодоношения. В стеллажи был напущен углекислый газ в количестве 0,8% к общему составу воздуха, т. е. почти в 27 раз больше нормально-го. Освещенность в теплице и вне ее замерялась люксметром, температура — обыкновенным термометром. Опырыскивание корней питательным раствором производилось через 45 минут.

В день замеров погода была солнечной, небо чистое, голубое. Освещенность вне теплицы достигала 30 тыс. люксов, в теплице над растениями (выше точек роста) — 18 тыс., среди растений (между стеллажами)

на высоте 75 см — 12 500, в зоне корневой шейки — 2500 люксов.

Стеллажи были разные: мелкие — глубиной 35 см и глубокие — 60 см. После того как в 9 час. 45 мин. утра в отдельные стеллажи и среди листьев был напущен углекислый газ, над крышками их температура повысилась с 24,5 до 27,5°, а внутри стеллажей (в зоне корней) — с 21,5 до 24°. Наблюдения за увяданием растений показали, что в глубоких стеллажах, где в зоне корней объем воздуха больше и содержание CO₂ выше, состояние тургора у растений удерживалось дольше (табл. 17).

Таблица 17

Состояние тургора в зависимости от концентрации CO₂

Варианты опытов	Подкормка CO ₂	Время подкормки (часы — минуты)	Время увядания листьев (часы — минуты)	Через сколько времени терялся тургор (часы — минуты)
Стеллаж глубиной 35 см	В зону листьев	9—45	10—55	1—10
	В зону корней и зону листьев	9—45	11—20	1—35
Стеллаж глубиной 60 см	В зону листьев	9—40	11—45	2—05
Стеллаж глубиной 60 см	В зону корней и зону листьев	8—45	11—50	3—05

Как видим, в глубоких стеллажах с большим объемом воздуха с повышенным содержанием CO₂ тургор у растений удерживался дольше. Данные этого опыта также показывают, что после высадки рассады на по-

стоянное место в стеллажах требуется создание определенного соотношения между корневой системой и размерами ассимиляционного аппарата растения, которое могло бы обеспечивать рост, развитие и интенсивное плодоношение.

Выращивание рассады и посадка

Для воздушной культуры рассада огурцов, помидоров, перцев, баклажанов выращивалась обыкновенным способом, на питательном растворе или других искусственных средах. Практика показала, что рассаду лучше выращивать на искусственных средах гидропоники, высаживать в нужные сроки, не допуская ее вытягивания и перерастания. Высаженная на воздушной культуре молодая, даже недоразвитая, рассада очень быстро приживается, хорошо растет и развивается. Эти растения раньше обычного зацветают и плодоносят. Рассада переносится в сетчатые стаканчики, помещенные в крышке стеллажа. Чтобы укрепить растения неподвижно, на дно сетчатого стаканчика и вокруг корней растений насыпается промытый гравий. Сбоку стаканчика в крышку стеллажа забивается небольшой гвоздь, и от него вверх натягивается шпагат (вертикальная шпалера), необходимый для дальнейшего ухода за растениями. Рассада высаживалась также и в цилиндры из резинового шланга диаметром 2 дюйма, высотой 4—5 см.

Для зеленных культур стеллажи вместо крышек можно покрывать сеткой, натянутой на рамку. Луковицы, корневища сельдерея и петрушки устанавливаются на сетку плотно один к другому. Затем, чтобы ускорить отрастание корней и зеленой массы, требуется создавать условия влажной камеры, для чего прикрывать луковицы и корневища прозрачной полиэтиленовой пленкой.



Рис. 12. Баклажаны, выращенные в воздушной среде. Крышка стеллажа с сетчатыми стаканчиками и растениями приподнята. Внизу нагнетательная трубка с форсунками.

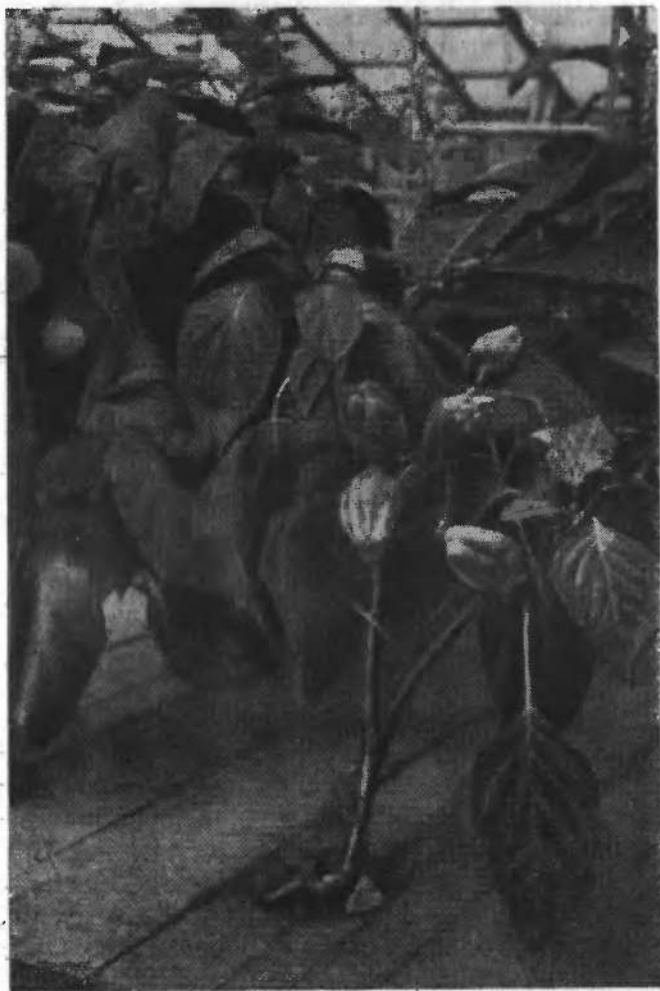


Рис. 13. Перцы на воздушной культуре.

Укрытые растения снизу из отверстий трубы с разбрызгивателем или из форсунок автоматически опрыскиваются питательным раствором через каждые 45 минут в течение 5—10 секунд. В таких условиях уже через 2—3 дня у растений развиваются корни, начинает появляться зелень.

Агротехника выращивания лука и других зеленных в условиях воздушной культуры изучена еще слабо, однако и незначительный опыт позволяет надеяться на то, что при аэропонике возможно создавать необходимые культурообороты в теплицах в течение всего года.

Особенности ухода за растениями

Помидоры. При выращивании помидоров на аэропонике нами был использован шпалерный способ. На горизонтально натянутой проволоке распределялись и главные побеги, подвязанные к проволоке шпагатом. Форма куста двухстебельная с ограничением на 6—8 кистях.

В условиях воздушной культуры очень важно размещать растения так, чтобы все листья хорошо освещались. Для этого необходимо регулировать густоту посевов, подбирать соответствующие сорта, выбирать правильное направление рядков (с востока на запад). В теплице необходимо систематически обновлять воздух, увеличивать в нем количество углекислого газа. В зависимости от условий и сорта требуется избрать более рациональную форму куста и систему распределения листовой поверхности в пространстве. Чтобы улучшить освещенность среди растений, в процессе ухода за ними можно использовать ярусный способ размещения листовой поверхности. При формировании растений следует помнить слова К. А. Тимирязева, который писал:

«...два листа, в некоторых случаях три листа, разлагают CO_2 более, чем один, но, начиная обыкновенно с четвертого, там разложение углекислоты уменьшается. Это объясняется тем, что третий и т. д. листья, не получая необходимого света, уже не разлагают, а, напротив, образуют углекислоту. Значит, два, три листа вполне имеют фотохимическую способность...»

Желтые и желтеющие листья следует удалять. Если между растениями создается значительная загущенность, то целесообразно удалять и часть зеленых листьев, начиная с нижних. Удаление части листьев в период формирования и созревания плодов повышает их товарность. Листья удаляются целиком, с помощью ножа, чтобы не повреждать стеблей.

При двухстебельном формировании растений на каждом из них следует оставлять не менее 4—6 кистей. Подвязку стеблей нужно проводить на горизонтальных шпалерах так, как распределяется виноградная лоза. Проволоку следует натягивать в 2—3 ряда и на каждой из них подвязывать стебли отдельных растений в двух направлениях.

Для продолжения плодоношения помидоров на первых пасынках можно оставлять по 1—2 кисти, после чего точку роста прищипывать, а пасынки подвязывать к стеблю или проволоке. Остальные пасынки, появляющиеся в пазухах листьев, лучше удалять сразу, так как они часто способствуют появлению у плодов вершинной гнили. Замечено, что у помидоров, выращиваемых в условиях, близких к огуречным, повышается продуктивность, идет ускорение отдачи урожая, снижаются заболевания стриком, бурой пятнистостью и др. Однако это положение требует проверки.

Значение сорта помидоров при воздушной культуре огромно. В теплицах на аэропонике лучше развивались растения помидоров сорта Бизон, чем сорта Маяк

и Грунтовой Грибовский. Они были мощнее, с более крупными плодами, урожайнее.

На урожай помидоров влияют и способы импульсного питания. Так, в тех же теплицах при опрыскивании корней из отверстий трубы без форсунок урожай с 1 кв. м достигал 9,79 кг, а при трех форсунках — 8,66 кг. Снижение урожая объясняется, по-видимому, тем, что форсунки часто засоряются и через них хуже подается раствор к корням.

При аэропонике вместе с увеличением количества урожая повышалась и его товарность. Плоды созревали раньше, чем на остальных вариантах с твердыми субстратами.

Следует отметить, что уход за перцами и баклажанами применялся такой же, как и за помидорами; таким же было и импульсное питание. В этих условиях перцы и баклажаны развивались хорошо и давали повышенный урожай.

Огурцы. На воздушной культуре растения огурцов растут и развиваются не хуже, чем на обыкновенной почвенной смеси. При уходе за ними формирование растений, прищипки и омоложение производятся по-прежнему. Прежде всего, при выращивании рассады для воздушной культуры прищипки надо делать более короткими, а после посадки растений на постоянное место производить их не на всех плетях одинаково. Часто после прищипки плетей над каждым плодом они очень слабо растут, а плодоношение прекращается. Так многие растения оказываются «защищенными».

Прищипку надо делать с учетом биологических особенностей основных плетей и плетей последующих порядков. Если этого не делать, то растения за счет плодоношения могут быстро достигать «потолка», и их требуется опускать. Так получилось в нашей теплице у части растений в 1961 г., когда допускались длинные

отплетки, а прищипку проводили не над плодом, а над вторым коленом. В 1962 г., наоборот, у некоторых растений мы прищипывали коротко все отплетки (над огурцом). Растения оказались «защищенными». Приросты урожая снизились до минимума, в то время как рост главного стебля в репродуктивную фазу был очень сильным.

Чтобы задержать рост огуречного растения в высоту и добиться непрекращающегося плодоношения, надо усиливать роль главной плети в улучшении питания плетей последующих порядков. Известно, что на основной плети образуются плети второго, третьего и т. д. порядков. Главная плеть, сообщаясь с корневой системой, служит проводником питательных веществ от корней и листьев ко всем частям растения и обратно. Известно и то, что листья, образующиеся на плетях последующих порядков, работают продуктивнее, чем устаревшие листья основных плетей, а плети второго, третьего и т. д. порядков завязей образуют больше, чем главная плеть. Следовательно, формирование растений должно производиться с расчетом на большее использование особенностей плетей разных порядков. На основной плети прищипку надо производить над каждым плодом, а на плетях последующих порядков совсем ее не делать, но неплодоносящие удалять. Если прищипка плети производится над каждым плодом, пластические вещества прилегающего к нему листа используются развивающимся плодом, для образования же новых тканей почти ничего не остается до тех пор, пока плод не разовьется. До этого же момента образование новых отплетков задерживается или совсем не происходит, что имело место у нас в 1962 г. Чтобы так не получилось, необходимо усиливать приток пластических веществ к образующимся плодам и точкам роста от листьев, с одной стороны, и питательных веществ от корневой системы —

с другой. От этого состояние растений улучшается, число завязей и плодов на них увеличивается.

Наряду с усилением развития плетей второго и последующих порядков следует заниматься обновлением всей листовой ассимиляционной поверхности растения. Несмотря на прищипки, растения огурцов на воздушной культуре вырастают большими, плети их достигают остекленной крыши, и дальнейшая их культура становится невозможной. Это наблюдается особенно часто в стеллажных теплицах. В процессе освоения воздушной культуры вместо омоложения растений нами разработан способ обновления ассимиляционной поверхности, позволяющий избежать разрыва в плодоношении растений, который создается опусканием (омоложением). Способ обновления листовой поверхности дал хорошие результаты.

Известно, что листья огурцов располагаются в определенной последовательности, а именно у основания плети, на плетях между плодами и в непосредственной близости над плодами. В зависимости от расположения листья бывают разных размеров. Они стадийно и физиологически разнокачественны, и продукты их работы также качественно различны.

Известно и то, что плоды образуются из пазух каждого листа или через два, три, четыре и даже через 8—9 листьев. Возле каждого плода образуется один или два листа, размеры которых увеличиваются вместе с ростом плода. Когда плод достигает товарной годности, соседний с ним лист достигает почти полного своего развития и после этого стареет. Аналогично этому образуются плоды и листья на плетях всех порядков, создавая затенение. От этого часть не только стареющих, но и молодых листьев желтеет и превращается из листьев, производящих питательные пластические вещества, в органы, потребляющие их. Устранение этих листьев с расте-

ний вызывает интенсивное образование новых тканей и плодов.

Обновление листовой поверхности улучшает условия освещенности, ускоряет образование новых тканей, плетей, листьев и повышает темпы роста плодов.

На плетях последующих порядков (отплетках) плоды образуются чаще, а листья, как правило, бывают моложе, чем на основных плетях. Они затеняются образующимися листьями главной плети и отплетков, старыми, стареющими и молодыми листьями. Отдельные отплетки бывают почти бесплодные. Они быстро растут и служат помехой для плодоносящих. Чтобы устранить затенение и обновить листовую поверхность, желтеющие, старые листья и часть стареющих и молодых листьев, расположенных по нескольку штук между плодами, а также частично или целиком бесплодные отплетки следует удалять.

Способом обновления ассимиляционного аппарата нам удалось на различных питательных средах выдержать культуру огурцов с 1 марта до ноября в 1957 г., до 20 октября — в 1958 и 1959 гг., до октября — в 1961 и 1962 гг. Не плодоносящие отплетки мы удаляем не совсем, оставляем их с 2—3 листочками. У большей части отплетков прищипку не производим. Отплетки, как и основную плеть, равномерно размещаем на проволоке без привязывания. Так, после обновления на стеллаже создается вид «оголенных» растений, которые со временем снова покрываются необходимой листвой.

Этот прием назван нами обновлением листовой поверхности на корню. Он применяется в течение всей вегетации растений по мере образования ассимиляционной поверхности.

Большое значение имеет и способ размещения плетей. Лучше — арочный. При этом способе на высоте 2—2,2 м от стеллажа между двумя рядами растений не-

обходимо натягивать 3—4 ряда проволоки (шпалеры) в виде арки. Крайние проволоки расположены ниже, средние — выше, поперек их также натягивается проволока. На эту «сеть» без привязывания и следует располагать образующиеся плети и отплетки. При этом они не перегибаются и не ломаются, а точка роста каждого отплетка свободно движется в том направлении, где для нее имеются соответствующие условия.

Установлено, что при арочном способе выращивания лучше освещается листовая поверхность огурцов; цветки и плоды, образующиеся из пазухи молодых листьев, развиваются в товарный плод быстрее, чем ранее образовавшаяся завязь вблизи старого листа. При арочном способе легче управлять растением, более равномерно распределить солнечный свет в зоне стояния растений, повысить коэффициент его использования и урожайность растений огурцов.

Омолождение растений огурцов на воздушной культуре имеет и свои особенности. Известно, что в полном пространстве стеллажей температура воздуха ниже, влажность воздуха выше, чем на поверхности крышек стеллажей. Вследствие этого создаются постоянные токи воздуха с повышенным увлажнением, омывающие прикорневую часть стеблей. Создающиеся при этом микроусловия вызывают образование на стеблях зачаточных корней, которые обычно не развиваются. Чтобы использовать их в практических целях, вызвать их рост, необходимо создавать на поверхности стеллажа «увлажненную камеру», сохраняя в прикорневой зоне на поверхности сетчатого стаканчика повышенную влажность. Это достигается опусканием стаканчиков на 10 см ниже деревянных крышек стеллажей и прикрыванием отверстия крышек непрозрачными пленками, крышками или обкладыванием стеблей торфяным мхом сфагнумом или другим материалом.

Превращение зачаточных корней в настоящие корни усиливает корневую систему, отчего растения «омолаживаются», зеленая окраска стеблей и листьев становится более интенсивной, развивается большое количество плетей, отплетков и плодов.

Аэропоника оказывает влияние и на прохождение репродуктивной фазы у растений огурцов. Разные способы импульсного питания неодинаково влияют на образование женских и мужских цветков (табл. 18).

Из данных таблицы видно, что цветков на растениях образуется большое количество на всех средах. Соотношение женских и мужских цветков на низких стеллажах составляет 1 : 8,4, на высоких — 1 : 8,9. Внекорневые подкормки на воздушной культуре способствуют образованию женских цветков.

Характерно для воздушной культуры стимулирование темпов прохождения отдельных этапов роста и развития огурцов. При импульсном питании в сравнении с другими способами выращивания сокращается период от образования до распускания цветков. Образующиеся цветки зацветали быстрее, чем на гравии и почве. Это наглядно показывают данные таблицы 19.

Очень важно отметить, что развитие цветков у растений, выращиваемых на воздушной культуре, проходит быстрее при импульсном питании, чем на других средах — на почве и гравии. Несмотря на то, что у растений, выращиваемых на почве, цветков образовалось больше, в развитии они отстают, и распустилось их меньше.

На воздушной культуре урожай огурцов в значительной степени зависит и от способов распыления водного питательного раствора на корневую систему. Самый высокий урожай получен при опрыскивании корневой системы растений из отверстий нагнетательной трубы, ниже — при использовании трехрожкового распылителя

Количество цветков на растениях огурцов сорта Клинский многоплодный в теплице совхоза «Марфино»

Название вариантов	Количество цветков (штук на одно растение)					Количество женских цветков (штук на одно растение)				
						в сред-нем				
	29/VI	4/VII	8/VII	12/VII	в сред-нем	29/VI	4/VII	8/VII	14/VII	в сред-нем
Низкие стеллажи воздушной культуры без форсунок	14,4	18,3	26,1	29,7	22,1	0,3	1,1	1,3	2,8	1,4
Низкие стеллажи воздушной культуры с одной форсункой	17,6	30,0	31,1	41,9	31,1	0,4	2,1	2,3	3,1	1,98
Низкие стеллажи воздушной культуры с двумя форсунками	18,0	22,0	25,2	26,6	22,9	0,3	2,0	3,3	3,2	2,2
Низкие стеллажи с внекорневым питанием	9,0	21,2	26,5	27,5	21,0	1,7	2,7	4,5	3,0	2,9
Высокие стеллажи воздушной культуры с двумя форсунками	14,6	26,7	22,2	31,0	23,6	0,6	2,5	3,0	4,7	2,7
Высокие стеллажи с внекорневым питанием	14,5	29,0	21,7	28,0	23,3	0,2	1,2	3,0	8,0	3,1
Гравий	15,1	19,0	23,9	29,4	21,8	0,2	1,0	1,3	4,9	1,8
Почвенная смесь	16,7	30,2	25,3	20,4	23,1	0,4	10,8	4,4	2,0	4,4

Количество распустившихся женских и мужских цветков, огурцов сорта Клинский многоплодный при разных условиях выращивания в теплицах совхоза «Марфино»

Название вариантов	Количество мужских цветков (штук на одно растение)					Количество женских цветков (штук на одно растение)				
						в сред-нем				
	29/VI	4/VII	8/VII	14/VII	в сред-нем	29/VI	4/VII	8/VII	14/VII	в сред-нем
Низкие стеллажи воздушной культуры без форсунок	0,3	1,4	3,1	4,0	2,2	0,2	0,2	0,7	1,9	0,7
Низкие стеллажи воздушной культуры с одной форсункой	0,7	2,6	4,0	5,7	3,2	—	—	1,6	3,2	1,3
Низкие стеллажи воздушной культуры с двумя форсунками	0,8	3,0	5,1	3,5	3,1	0,3	3,5	1,6	5,5	1,9
Низкие стеллажи с внекорневым питанием	0,2	1,5	3,7	2,5	1,9	0,2	0,5	2,7	1,9	1,3
Высокие стеллажи воздушной культуры с двумя форсунками	0,4	1,7	3,4	2,7	2,0	—	0,4	1,7	4,4	1,6
Высокие стеллажи с внекорневым питанием	0,7	1,5	3,0	3,2	4,1	—	0,25	1,2	0,12	0,4
Гравий	0,6	0,9	2,0	2,9	1,6	—	0,2	0,7	2,9	0,9
Почвенная смесь	—	0,7	3,4	3,2	1,8	—	—	0,3	4,7	1,2

(трех форсунок) и еще ниже — округлых форсунок (грибок). Эффективность импульсного питания, по-видимому, зависит от угла падения и степени распыления струи питательного раствора, увлажнения корневой системы растения. При работе округлых форсунок зонт образующейся водной пыли бывает ограничен, и корневая система опрыскивается хуже, чем из тройных распылителей или коллектора, с помощью которых опрыскивались все корни.

Влияние способов опрыскивания корневой системы на урожай огурцов сорта Клинский многоплодный показано в таблице 20.

Таблица 20
Влияние различных способов импульсного питания на урожай огурцов в теплице при посеве семян 19 мая, посадке рассады на постоянное место 8—12 июня

Способ выращивания	Дата		Урожай огурцов (кг с 1 кв. м)				
	первого сбора	последнего сбора	июль	август	сентябрь	октябрь	всего
Коллекторные посевы (обычные)	4/VII	12/X	4,68	3,85	1,85	0,49	10,87
Воздушная культура:							
а) круглые форсунок (один грибок на четыре растения)	4/VII	17/X	3,88	6,36	3,05	0,43	13,73
б) без форсунок (коллектор)	4/VII	12/X	5,37	6,72	3,18	0,87	15,6
в) три обыкновенные форсунок на четыре растения	4/VII	17/X	4,09	5,96	4,21	0,94	15,2

Огурцы сорта Клинский многоплодный плодоносили лучше при бесфорсуночном способе опрыскивания. На воздушной культуре образующиеся плоды огурцов бугорчатые и шиповатые, интенсивно зеленые, крупные. За период плодоношения (3½ месяца) на одном растении образовалось в среднем следующее количество плодов: на импульсном питании (коллектор) 29 штук, на тройном распылителе — 28, на круглых форсунках — 26 штук. Средний вес товарного плода при импульсном питании корней тройным распылителем был 108 г, круглыми форсунками и без форсунок (коллектор) — 100—101, на контроле — 103 г. Урожай огурцов в теплицах совхозов «Белая дача» и «Марфино» на воздушной культуре показаны в таблицах 21 и 22.

Таблица 21

Способ выращивания	Сроки проведения опыта	Дата первого сбора	Дата последнего сбора	Урожай (кг с 1 кв. м)
1959 г.				
Почвенная смесь . . .	8—12/VI	4/VII	12/X	10,87
Воздушная культура . .	8—12/VI	4/VII	17/X	15
1961 г.				
Почвенная смесь . . .	16/VI	6/VII	25/IX	7,9
Воздушная культура:				
а) низкие стеллажи:				
без форсунок . . .	16/VI	6/VII	25/IX	7,64
с одной форсункой на 4 растения . . .	16/VI	6/VII	25/IX	12,1
с двумя форсунками на 4 растения . . .	16/VI	6/VII	25/IX	8,04
б) высокие стеллажи с двумя форсунками на 4 растения . . .	16/VI	6/VII	25/IX	8,41

Продолжение

Способ выращивания	Сроки проведения опыта	Дата первого сбора	Дата последнего сбора	Урожай (кг с 1 кв. м)
1962 г.				
Почвенная смесь	20/V	11/VI	15/X	12,7
Низкие стеллажи	20/V	11/VI	15/X	14,5
Высокие стеллажи	20/V	11/VI	15/X	13

При воздушной культуре огурцов большое значение имеет сорт. Изменение урожайности различных сортов огурцов при одинаковых условиях показано в таблице 22.

Таблица 22

Способ выращивания	Сроки проведения опыта	Дата первого сбора	Дата последнего сбора	Урожай (кг с 1 кв. м)
Воздушная культура:				
Клинский многоплодный Урожайный 1596	9/V	27/V	25/VI	10,03
Клинский из семян закрытого грунта ВИР	9/V	27/V	25/VI	8,71
Клинский из семян открытого грунта ВИР	9/V	27/V	25/VI	9,03
	9/V	27/V	25/VI	8,96

Данные таблиц 21 и 22 показывают, что урожай при воздушной культуре зависит и от сроков посадки. При ранних сроках посадки урожай выше.

Большое влияние на урожайность огурцов оказывает

также концентрация питательного раствора. В 1961 г. на воздушной культуре огурцов сорта Клинский в теплице совхоза «Марфино» в процессе плодоношения можно было наблюдать, что высокая концентрация раствора задерживает поступление урожая. Повышенные концентрации питательного раствора снижали продуктивность растений, одновременно с этим повышали темпы роста вегетативных частей и органов и вызывали «жирование» растений. Плети и листья сильно разрастались за счет плодоношения. Дальнейшее изучение и уточнение этого вопроса имеет практическое значение.

В процессе наблюдения за воздушными культурами приходится констатировать также факт приспособляемости растений к концентрации питательного раствора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Метод воздушной культуры имеет большое практическое и научное значение. Он займет достойное место в социалистическом сельскохозяйственном производстве и в комплексных исследованиях, так как позволяет практически управлять жизненными процессами растений. Данными опытов и практикой подтверждено, что растения могут расти, развиваться и давать высокие урожаи и при выращивании без субстратов, с корнями в воздухе, при периодическом, кратковременном опрыскивании их, а при необходимости и зеленых листьев питательным раствором.

Изучение характера водно-воздушного питания у бахчевых, пасленовых, бобовых и других культур с целью разработки автоматического управления им позволило установить циклы и импульсы питания в соответствии с выявленной непрерывностью водного питания в течение суток, наличия суточного и физиологического ритмов в

несвойственных для растений условиях — воздушной среде.

Наблюдения за факторами внешней среды показали специфику микроусловий в полном пространстве стеллажа (в зоне корнеобитания) и зеленых листьев растений, а именно наличие значительных температурных перепадов в зоне надземной части и менее — в зоне корней, различие концентрации солей на поверхности действующих корней и корневых волосков, влияющее на транспирацию и тургор растений. Для управления питанием воздушных культур разработан прибор с программным управлением.

При изучении влияния воздушной среды на биологию роста и развития растений выяснено положительное влияние воздушной культуры на корнеобразование, усиление его в 1,5—5 раз в сравнении с твердыми субстратами, на биологию цветения и плодоношения овощных растений, повышение урожая на 30—50 и более процентов, снижение затрат труда на подготовительные работы на 0,6—0,7 человеко-дня на 1 кв. м площади теплицы.

Метод воздушной культуры открывает большие возможности для колхозов и совхозов в получении высоких урожаев овощных и других культур при высокой производительности труда и низкой себестоимости продукции. Он может быть использован в защищенном грунте, в оранжерейном хозяйстве, на кораблях в далеких экспедициях, на космических кораблях. В науке новый метод удобен для глубоких комплексных исследований корневой системы, выяснения физиологических функций отдельных органов растений при данном способе питания и условиях воздушной культуры. Вместе с тем как новый метод управления растением он требует дальнейшего изучения минерального и углеводного обмена и питания, расширения исследований по уточнению состава, соотношения элементов питания в водном растворе, подбора

сортов и видов растений, их направленного воспитания. Требуется также усовершенствовать автоматизацию и механизацию управления и контроля за динамикой питания, разработать проект и наладить промышленное изготовление всех узлов из пластмасс.

Необходимо создать лабораторию производственного опыта по аэропонике. К ее работе должны подключиться и научно-исследовательские учреждения. Это позволит в ближайшее время дать новые решения практических задач по управлению жизненными процессами растений в соответствии с задачами, поставленными программой коммунистического строительства.

ЛИТЕРАТУРА

- Тимирязев К. А. Земледелие и физиология растений. М., Сельхозгиз, 1957.
- Арциховский В. О воздушных культурах растений. М., «Журнал опытной агрономии» № 1, 1911.
- Кудрявцева А. Потребность корней растений в кислороде. «Научно-агрономический журнал» № 1, 1924.
- Курсанов А. Л., Крюков Н. Н. и Пушкарева М. И. Темновая фиксация и освобождение углекислоты, поступающей в растение через корни. Доклады АН СССР. Новая серия. 1953, т. XXXVII, № 5, изд-во АН СССР.
- Академик Курсанов А. Л. Усвоение растениями углекислоты через корневую систему. Труды Института физиологии растений имени К. А. Тимирязева АН СССР, т. X, 1955.
- Чесноков В. А. Выращивание растений без почвы. Лениздат, 1960.
- Базырина Е. Н. К методике водных культур. Роль аэрации в жизнедеятельности корня. Труды Ленинградского общества естествоиспытателей, т. XX, вып. 3, 1950.
- Ничипорович А. А. Световое и углеродное питание растений (фотосинтез), М., 1955.
- Новиков В. А. Физиология растений, М., 1961.
- Максимов Н. А. Физиология растений, М., 1957.
- Полунин А., Мураш И. Овощи в воздушной среде. Журнал «Картофель и овощи» № 10, 1960.
- Мураш И. Г. Способ тепличного выращивания овощей. Бюллетень изобретений за 1959 г. № 12.
- Мураш И. Г. Устройство для тепличного выращивания овощей. Бюллетень изобретений за 1961 г. № 3.
- Мураш И. Г. О воздушной культуре растений в закрытом грунте. Журнал «Физиология растений», т. 10, вып. 5, 1963.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Некоторые экономические показатели аэропоники	7
Понятие «аэропоника». Автоматизация питания растений	11
Бак для питательного раствора	12
Подбор и работа электронасоса	14
Разбрызгиватель питательного раствора	18
Упрощенная схема реле времени для регулирования водного и воздушного питания	19
Автоматический контроль и управление водно-воздушным питанием растений	21
Какие стеллажи используются для аэропоники	23
Регулирование корневого минерального питания растений	24
Состав питательных растворов	24
Требования растений к кислотности раствора и ее определение	25
Нормы и ритм импульсного питания	26
Определение циклов и импульсов при воздушной культуре	31
Биологическое обогащение питательного раствора и его значение	35
Изменение концентрации некоторых элементов в питательном растворе	36
Сроки замены и корректировки питательного раствора	44
Техника приготовления питательного раствора	48
Определение потребности в элементах питания по внешним признакам растений	48
	95

Рекомендации по «ремонту» водного питательного раствора	54
Агрофизические особенности воздушной среды и воздушное питание растений листьями	56
Углекислотное питание растений корнями	62
Агротехника выращивания овощей в воздушной среде	66
Температурный режим в зоне листьев и корней	66
Регулирование условий роста и развития корней	69
Применение различных способов импульсного питания	70
Освещенность в зоне корней	72
Воздушная подкормка корневой системы углекислым газом	73
Выращивание рассады и посадка	75
Особенности ухода за растениями	78
Включение	91
Литература	94

Иван Григорьевич Мураш
АЭРОПОНИКА В ТЕПЛИЦАХ

Редактор Е. Вишнякова
Художественный редактор В. Журавский
Художник В. Воеводин
Техн. редактор М. Шлык

Издательство «Московский рабочий», Москва, пр. Владимирова, 6.

Подписано к печати 20/II 1964 г. Формат бумаги 70×108¹/₃₂.
Печ. л. 4,11. Уч.-изд. л. 3,89. Тираж 3 000. Цена 10 к. Зак. 89.
Бланк заказов № 35 1963 г. № 19.

Типография изд-ва «Московский рабочий», Москва, Петровка 17.