

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ОПЫТОВ

1. *Значение вегетационного метода исследования при изучении питания растений, свойств почвы и удобрений. Разновидности вегетационного метода.*
2. *Вегетационные сооружения, их устройство и оснащение*
3. *Техника проведения вегетационных опытов. с почвенными и песчаными культурами.*
4. *Опыты с водной культурой, метод изолированного питания, метод текущей песчаной культуры.*
5. *Гидропонное выращивание растений.*

1. Значение и задачи вегетационного метода исследования. Разновидности вегетационного метода.

Вегетационным методом исследований или вегетационным опытом, называют опыт с удобрениями в искусственных условиях – в сосудах с целью изучения питания растений и обмена веществ в них.

Вегетационный метод позволяет отделить и выявить роль отдельных факторов в жизни растений при регулируемых условиях влажности, освещенности, температуры и питательного режима. Вегетационный метод незаменим при изучении физиологической роли элементов питания, в том числе микроэлементов, новых форм удобрений, особенностей питания растений и т.п. В вегетационных опытах широко применяют радиоактивные и стабильные изотопы.

Вместе с тем такие проблемы агрохимии, как использование удобрений в севообороте, сочетание их с системой обработки почвы, ухода за растениями и т.д., можно исследовать только в полевых опытах. В вегетационном опыте влияние отдельных факторов на растения изучается в искусственных условиях и его результаты могут не совпадать с данными полевого опыта. При углубленных агрохимических исследованиях необходимо сочетание полевых, вегетационных и лабораторных методов.

В зависимости от целей и задач исследований используют в основном следующие модификации вегетационного метода: почвенные, песчаные, водные культуры. В опытах с **песчаной культурой** субстратом является песок, с водной – дистиллированная, бидистиллированная, иногда водопроводная вода.

Метод изолированного питания, или разделенной культуры, используется при изучении значения разных солей в питании растений, передвижения элементов питания по корневой системе, выделения питательных элементов растениями, влияния внешних условий (температуры, реакции и др.) на питание растений, влияния взаимодействия двух или нескольких солей на усвоение элементов питания. В опытах с

разделенной культурой растения одновременно выращивают на двух субстратах. Для этого один сосуд помещают в другой и заполняют их разными субстратами. Проростки растений закрепляют так, чтобы одна прядь корней растения получала питание из внешнего сосуда, другая – из внутреннего. Этот метод называют еще методом «всадника» – растение «сидит» на стенке внутреннего сосуда, как всадник на лошади (рис. 15.12). В опытах с изолированным питанием в качестве субстрата используются песчаные, песчано-почвенные, водные и другие культуры с нормальными или измененными питательными смесями.

Метод текущей песчаной культуры, или протекающих растворов (капельная культура по Демолону), применяется, когда для исследования надо иметь постоянную концентрацию элементов или постоянное соотношение элементов, а также стабильную реакцию среды. В опытах с текущей песчаной культурой питательный раствор из бутылей вместимостью 16–20 л, помещенных на верхней полке установки, с помощью сифона подается в промежуточный сосуд, откуда он под постоянным давлением через сифоны с кранами или зажимами поступает в сосуды с растениями на нижней полке установки (рис. 15.13). Раствор проходит через песок, омывает корни и вытекает из отверстия в нижней части сосуда. При набивке сосудов питательная смесь в песок не вносится. Питательные смеси (Кнопа, Гельригеля и др.) разбавляют в 5–10 раз и пропускают через сосуды с растениями со скоростью 4 л в день – такой скорости достаточно, чтобы полностью обновить раствор в сосудах и поддерживать на одном уровне состав и реакцию питательной среды.

В опытах со **стерильной культурой** изучаются роль микроорганизмов в питании растений, корневые выделения, питание растений органическими соединениями. Эта модификация вегетационного опыта очень сложна, так как в сосудах субстрат и корневая система должны быть стерильными.

Гидропоника – это выращивание растений на питательных растворах без почвы. Первые опыты по гидропонике были проведены в 20-х годах XX в. Тогда же был введен термин «гидропоника». Гидропонный метод широко используется как в научно-исследовательской работе, так и в производстве при выращивании овощных культур, цветочных, лекарственных и других растений.

Различают три модификации метода в зависимости от используемой культуры (субстрата): агрегатопоника – когда используются твердые, преимущественно инертные субстраты, периодически увлажняемые питательным раствором; гидропоника – когда используется водная культура (питательный раствор), в которую постоянно погружены корни растений; аэропоника, или воздушная культура, – когда корни растений находятся во влажном воздухе и периодически опрыскиваются питательным раствором. Для выращивания овощных и других культур, а также в исследованиях наибольшее распространение получила культура твердых субстратов.

При составлении схемы опыта руководствуются *принципом единственного различия* между отдельными вариантами. Сравнимые варианты должны отличаться изменением того условия, выявление действия которого и является задачей сравнения, все другие условия должны быть одинаковы.

Наряду с фактором единственного различия необходимо добавить требование *обстоятельности* схемы опыта, чтобы выяснить действительно возможные зависимости между условиями жизни растений, использовать их для создания наилучших из них в получении полного эффекта от применения удобрений.

Варианты, с помощью которых устанавливают степень чувствительности растений к изучаемому фактору, называют *контрольными*.

Для повышения точности и достоверности результатов опытов каждый вариант должен иметь несколько параллельных сосудов (повторностей), в опытах с зерновыми культурами, льном и травами – не менее 3–4 повторностей, картофелем, корнеплодами, капустой, огурцами – 5–6 повторностей.

2. Вегетационные сооружения, их устройство и оснащение

Для проведения вегетационных опытов различной модификации используют вегетационные домики, теплицы, сетчатые павильоны, установки искусственного климата, фитотроны и другие сооружения.

Вегетационные домики (теплицы) – наиболее известные и распространенные сооружения для проведения вегетационных опытов. Они бывают односкатные и двускатные. Каркас домика делают из дерева или железа и стекла. Вегетационные домики должны стоять на открытом, не затененном пространстве, с юга, востока и запада вблизи не должно быть строений, северная сторона может быть открытой, может примыкать к подсобным помещениям для хранения сосудов, песка, поддонов и т.п.

Вегетационные домики имеют стеклянные крышу и стены, которые предохраняют растения от дождя, но обеспечивают их нормальное освещение.

Вегетационные домики оборудуют стеллажами для размещения сосудов, водопроводом, перегонным кубом для получения дистиллированной воды, грохотом, помещением для хранения сосудов и другого инвентаря, техническими весами, сосудами, эмалированными тазами и другим инвентарем.

Сетчатый павильон защищает растения от птиц и повреждений. Для каркаса павильона используют водопроводные и газопроводные трубы, железные уголки, на которые натягивают металлическую сетку с размером ячеек 1,5 x 1,5 и 2,0 x 2,0 см.

Сетчатый павильон также оборудуют стеллажами. Условия выращивания растений под сеткой приближаются к естественным (световой и

температурный режимы).

Вегетационные шкафы – более или менее закрытые помещения небольшого размера, пригодные для выращивания зеленых растений. Доступ к растениям осуществляется только снаружи. Шкафы могут быть из непрозрачного материала с искусственным освещением (шкафы искусственного света), или пропускающие дневной свет (шкафы естественного света), или миниатюрные теплички с добавочным искусственным освещением или без него.

Терморегулируемые камеры – достаточно большие помещения, в которых регулируются температура и влажность, интенсивность света в них относительно низка. Они непригодны для длительного выращивания растений, поэтому их называют терморегулируемыми, а не вегетационными камерами.

Вегетационные камеры – помещения, в которых отсутствует естественное освещение, но они обеспечены искусственным светом в количестве, достаточном для нормального роста зеленых растений в течение длительного периода времени. Вегетационные камеры могут быть с внутренним и внешним освещением.

Фитотроны – сложные лаборатории искусственного климата, состоящие из ряда вегетационных и терморегулируемых камер, а также теплиц. В фитотроне растения можно свободно перемещать из одних условий в другие. В них регулируется большинство наиболее важных факторов внешней среды, такие как температура почвы и воздуха, интенсивность освещенности, влажность почвы и воздуха, минеральное питание, газовый состав воздуха, ветронагрузка и т.п.

Вегетационные опыты проводят в сосудах, которые изготавливаются из стекла, оцинкованного или простого железа, полиэтилена, глины, а также эмалированных. Стекланные сосуды чаще всего используют при закладке опытов с водной, стерильной и разделенной (изолированное питание) культурой. Наиболее употребительны сосуды размером 15 x 20, 20 x 20, 30 x 25 см (первая цифра указывает диаметр сосуда, вторая – его высоту). Наиболее удобны и практичны металлические сосуды, покрытые эмалевой краской, так называемые эмалированные сосуды, а также металлические сосуды Вагнера, Митчерлиха и Кирсанова (рис. 1).

Размер сосуда для почвенных культур должен соответствовать биологическим особенностям опытного растения, обеспечивать нормальное развитие корневой системы (табл. 1). Для зерновых, льна, гороха, гречихи и других культур наиболее удобны сосуды 15 x 20 или 20 x 20 см, для растений с глубокорастущей корневой системой предпочтительнее 15 x 30 или 20 x 35 см. Для картофеля, корнеплодов, кукурузы и других культур необходимы сосуды 25 x 30 или 30 x 35 см.

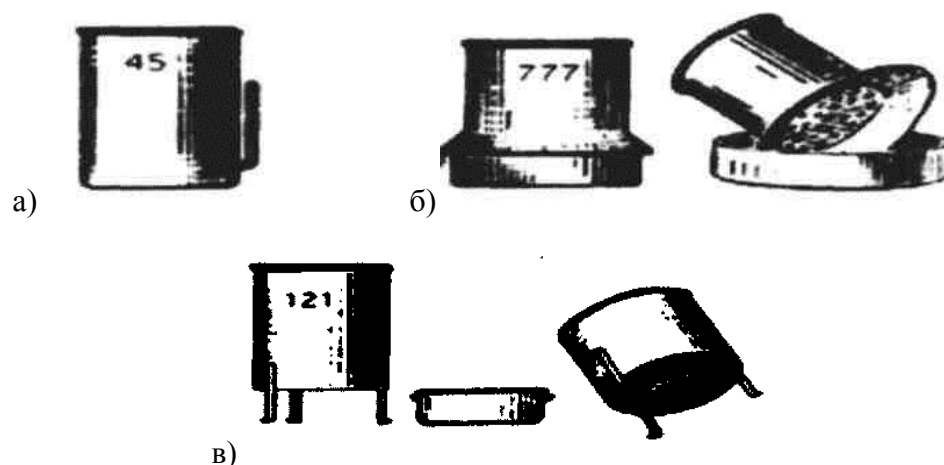


Рис. 1. Сосуды для проведения вегетационных опытов.

Таблица 1. Размеры вегетационных сосудов для различных культур

Культура	Размеры сосудов для культур, см		Вместимость сосудов для водных культур, л
	почвенных	песчаных	
Зерновые, лен-долгунец	20 x 20	20 x 20	3 – 5
Бобовые	15 x 30	15 x 20	4 – 5
	30 x 15	20 x 20	
	20 x 20	15 x 20	
Многолетние травы	30 x 20	20 x 20	3 – 5
	30 x 15	20 x 15	
Картофель	35 x 30	35 x 30	7 – 8
Сахарная свекла	25 x 30	25 x 30	6 – 8
Капуста	28 x 33	28 x 33	6 – 8
	30 x 25	30 x 30	
	33 x 30	25 x 30	
Огурец	25 x 30	25 x 25	5 – 6
лук	25 x 20	20 x 20	4 – 5
Редис	25 x 20	20 x 20	4 – 5
Морковь	25 x 20	22 x 22	5 – 6

Примечание. Первая цифра обозначает диаметр, вторая – высоту сосуда. Сосуд размером 20 x 20 см вмещает 4–6 кг, 25 x 25 см – 15–18, 30 x 30 – 22–26 кг почвы. Масса почвы 4–6, 15–18 кг и т.д. приведена для дерново-подзолистых почв, первая цифра массы относится к высокогумусированным, а вторая – малогумусированным почвам.

Количество субстрата (песок, почва и т.п.) для зерновых, льна и культур сплошного посева – 5–7 кг, картофеля, свеклы, капусты и других пропашных – 12–30 кг и более.

Сосуды Вагнера представляют собой металлические цилиндры с несколько выпуклым дном. Сбоку к сосуду припаивается трубка диаметром 2 см, длиной 12 см, которая снизу сообщается при помощи круглого отверстия с дном сосуда и служит для наливания воды при поливе растений в сосудах. При набивке сосуда почвой или песком отверстие закрывается железным желобом (дренаж) с зазубренными краями или гребешком (рис. 1 а).

Сосуды Митчерлиха (рис. 1 б) эмалированные, железные, дно у них имеет выпуклую форму. По всей поверхности дна имеются отверстия, поэтому вода в сосудах не застаивается и излишек ее стекает в поддон. Поддон имеет с

одной стороны рукоятку, а с другой – носик для сливания.

Сосуды Кирсанова (рис. 1 в) отличаются от митчерлиховских только тем, что на дне сосуда сделана продольная щель шириной в 1 см, длиной 8–10 см. Размеры сосудов Митчерлиха и Кирсанова: 20 x 20, 30 x 25, 35 x 30 см (табл. 1).

В настоящее время при проведении вегетационных опытов широко применяют сосуды из оцинкованного железа, глиняные с глазурованной внутренней поверхностью, полиэтиленовые ведра. Кроме того, в настоящее время применяют вегетационные сосуды с регулируемой температурой в ризосфере. Сосуд с почвой и корнями растения погружается в другой (внешний) сосуд большего размера, иногда с двойными стенками. Между сосудами или между стенками внешнего сосуда циркулирует жидкость, имеющая нужную температуру.

Дренаж в сосудах необходим в целях создания свободного пространства для вливаемой воды, откуда она могла бы всасываться почвой или песком и поступать к растениям. В качестве дренажа может быть использован гравий (диаметром 3–4 см), битое стекло (слой 3–4 см), керамзит, крупная щебенка, специально изготовленный железный гребешок (рис. 2).

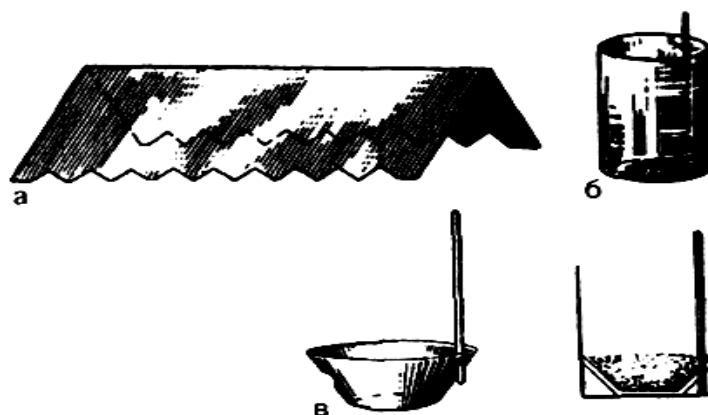


Рис. 2. Виды дренажа для вегетационных сосудов:
а – дренаж (желоб) для вегетационных сосудов Кирсанова; б – дренаж в вегетационных сосудах для почвенных и песчаных культур; в – дренаж в вегетационных сосудах для песчаных и почвенных культур.

В металлических сосудах роль дренажа выполняет желоб из оцинкованного железа с пилообразными вырезанными краями, которые укладываются на дно сосуда, образуя своими краями канал, где собирается вливаемая вода (рис. 3).



Рис. 3. Растения фасоли в вегетационных сосудах Митчерлиха.
Почвенная культура. Полив "до пролива":
1 – шлак; 2 – известь; 3 – контроль.

В качестве дренажа может быть использован также фарфоровый или металлический полуконус или усеченный конус узким отверстием вниз. В пустом кольцеобразном пространстве, которое остается между дном, стенками сосуда и полуконуса, собирается вода. Чтобы она поступала вверх, внутрь полуконуса насыпают плотным слоем песок, который не будет просыпаться, если полуконус изнутри закрыт полотном или марлей в несколько слоев. Песок будет соприкасаться с дном сосуда и впитывать воду, которая вливается через трубку.

3. Техника проведения вегетационных опытов с почвенными и песчаными культурами

Почвенные культуры – одна из наиболее распространенных модификаций вегетационного опыта, когда растения выращивают в сосудах, наполненных почвой. Эту методику используют для изучения взаимодействия удобрений с почвой, почвы с растениями, а также свойств почвы и удобрений. Для проведения опытов в почвенных культурах необходимы следующие материалы и оборудование: почва, удобрения, кварцевый песок, вегетационные сосуды, битое стекло для дренажа, стеклянные трубочки, марля, тазы для перемешивания удобрений с почвой, теххимические и чашечные весы с соответствующими разновесами (гирями), конструкции для каркаса, семена, препараты для протравливания семян, противни и термостат для проращивания семян, мерные цилиндры, пипетки, совки, пинцеты, стаканы для определения влажности и цилиндры для определения влагоемкости почвы, пакеты для учета урожая, отбора растительных и почвенных образцов.

При постановке опытов осуществляется ряд основных последовательных операций.

Отбор и подготовка почвы. При выборе почвы для вегетационного опыта необходимо заранее установить, на какой почве должен быть поставлен опыт для разрешения стоящей перед экспериментатором задачи, установить

точное название почвы, указать, откуда взят образец, культурное состояние и историю участка, с которого взят образец (унавоживался ли и в какой степени, вносились ли на него минеральные удобрения, когда, какие и в каком количестве, из-под каких культур взят образец).

Количество необходимой для постановки опытов почвы определяют с учетом числа сосудов и их емкости. Так как при взятии, доставке и подготовке почвы для опытов происходят большие потери, то количество почвы, взятой в поле, должно быть не менее чем на 25% выше вычисленного на основании числа сосудов в предстоящих опытах и их емкости. Если почва в поле была очень влажной, то ее приходится брать на 30–40% больше количества, необходимого для набивки сосудов.

Наиболее удобной считается такая влажность почвы, при которой почва не пылит, но и не мажется и легко распадается на комки.

Привезенную почву (не допуская подсыхания) приводят в состояние однородной массы путем тщательного перемешивания, удаления камней, крупных корней, пожнивных остатков и просеивания через грохот с ячейками 3 мм. Приведение почвы в однородное состояние необходимо для удовлетворительной сходимости результатов повторностей и, следовательно, точности опыта.

Подготовка сосудов. Для каждого опыта необходимо подобрать партию одинаковых сосудов, близких по высоте, объему и массе. Масса сосудов может различаться не более чем на 100 г, их диаметры – не более чем на 0,5 см. Подобранные по числу вариантов и повторений сосуды тщательно моют, высушивают и снабжают (если нужно) чехлами.

Подбирают стеклянные трубки для пролива воды на дно сосуда диаметром 1–1,5 см и длиной на 2–3 см выше стенки сосуда. Для дренажа на дно сосудов помещают 200–300 г предварительно вымытого и высушенного битого стекла. После этого приступают к тарированию сосудов, т.е. к выравниванию их массы путем добавления (или уменьшения) битого стекла или кварцевого песка. При тарировании сосудов дренажное стекло сдвигают к стенке горкой так, чтобы оно занимало не более 75% площади дна, накрывают его кружком марли с отверстием для стеклянной трубки, используемой при поливе. Трубку через отверстие в марле помещают в горку битого стекла, а марлю расправляют, чтобы она покрыла дренажное стекло и часть свободного пространства дна сосуда.

Удобрения. В вегетационных опытах с почвенной культурой при изучении влияния различных удобрений (азотные, фосфорные, калийные, известковые и т. п.) необходимо создавать сравнительно высокий фон других макроэлементов, кроме изучаемого, чтобы избежать возможности ограничивающего влияния их на урожай и качество продукции растений.

В вегетационных опытах могут быть использованы как готовые минеральные удобрения, так и химические соли различной степени очистки. Удобрения могут быть внесены в виде порошков, гранул и раствора. Величина дозы зависит от задачи опыта, культуры и размера сосудов

(табл. 2).

Таблица 2. Дозы удобрений в вегетационных опытах с почвенными культурами, г/кг почвы

Культуры	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Зерновые	0,10–0,15	0,10–0,15	0,10–0,15
Картофель	0,12	0,20	0,28
Сахарная свекла	0,15	0,22	0,22
Капуста	0,15–0,20	0,20–0,25	0,20–0,25
Томаты	0,10–0,15	0,15–0,20	0,20–0,30
Огурцы	0,15–0,20	0,15–0,20	0,20–0,25
Свекла столовая	0,15–0,20	0,20–0,25	0,20–0,25
Морковь	0,15–0,20	0,20–0,25	0,20–0,25
Лук	0,10–0,15	0,10–0,15	0,15–0,20

Перед набивкой почвы в сосуд (за 1–2 дня) берут образцы почвы массой около 1 кг для определения гигроскопической влаги, влагоемкости, а также для проведения химического и гранулометрического анализов.

Расчет доз удобрений (солей) производят согласно схеме опытов. Например, при закладке опытов с ячменем дозы основных элементов питания (N, P, K) на 1 кг почвы составляют: 0,15 г N; 0,10 г P₂O₅ и 0,10 г K₂O. Предположим, что сосуд вмещает 5,0 кг почвы. Значит, доза удобрений на сосуд будет составлять: 0,15 г N x 5,0 = 0,75 г N; 0,10 г P₂O₅ x 5,0 = 0,50 г P₂O₅ и 0,10 г K₂O x 5,0 = 0,50 г K₂O. Предположим, что в нашем опыте будут использованы аммиачная селитра с содержанием 34,0% N, простой гранулированный суперфосфат – 20,5% P₂O₅ и хлористый калий KCl – 60,0% K₂O.

Пересчет доз N, P₂O₅ и K₂O в физическую массу удобрений производят по пропорции следующим образом:

в 100 г NH₄NO₃ содержится 34,0 г N;

с x г NH₄NO₃ требуется внести 0,75 г N;

$x = 100 \cdot 0,75 : 34,0 = 2,2$ г аммиачной селитры.

Путем аналогичных расчетов находим дозы простого гранулированного суперфосфата и хлористого калия, которые составляют в нашем примере 2,44 и 0,83 г на сосуд.

Имеются некоторые особенности расчета доз при применении комплексных удобрений (нитрофоска, нитроаммофоска, аммофос, калийная селитра и др.). При использовании комплексных удобрений недопустимо складывать содержащиеся в них элементы питания, за основу принимают какой-то один элемент. И по выбранному за основу элементу рассчитывают физическую массу удобрения (г/сосуд).

Предположим, что в исследованиях будет использована нитроаммофоска (НАФК) с соотношением и содержанием N : P₂O₅ : K₂O, равным 16 : 16 : 16. Условия задачи остаются прежними: выращивают ячмень в сосудах вместимостью 5,0 кг почвы при дозах 0,75 г N, 0,50 г P₂O₅ и 0,50 г K₂O. Потребность ячменя в N, P₂O₅ и K₂O различна, а содержание их в нитроаммофоске одинаковое. Поэтому расчет начинают с наименее потребляемого ячменем элемента питания. Это будет или фосфор, или калий

(они требуются в одинаковом количестве растениям ячменя). Рассчитывают точно так же, как для простых удобрений:

100 г НАФК – 16 г P_2O_5 (K_2O);

с x г НАФК требуется внести 0,5 г P_2O_5 (K_2O);

$x = 100 \cdot 0,5 : 16 = 3,1$ г нитроаммофоски.

Такое количество нитроаммофоски удовлетворит полностью потребность ячменя в фосфоре и калии и на 0,5 г д.в. в азоте. А по условию задачи требуется внести на сосуд 0,75 г N. Значит, $0,75 - 0,50 = 0,25$ г. Столько азота требуется добавить в виде любого простого азотного удобрения, например сульфата аммония (20,5% N). Для установления его количества производят следующий расчет:

$x = 100 \cdot 0,25 : 20,5 = 1,2$ г сульфата аммония.

В случае равенства требуемых доз N, P_2O_5 и K_2O (допустим, 0,5 г N, 0,5 г P_2O_5 и 0,5 г K_2O) требуется внести 3,1 г НАФК ($100 \cdot 0,5 : 16$), чтобы покрыть потребность в элементах питания.

Навески удобрений (или химических солей) берут на лабораторно-технических весах в предварительно приготовленные пакетики из вощенной бумаги или кальки. На пакетиках простым карандашом или фломастером надписывают порядковый номер варианта (№ 1, 2, 3, 4 и т.д.) или его агрохимическое содержание (обозначение) — 0 (контроль), НК (фон), Ф + $P_{сд}$, Ф + $P_{фш}$ и т.п. Обязательно берется по одной лишней навеске каждого удобрения по всем вариантам схемы вегетационных опытов, чтобы избежать какой-либо случайности и не прерывать закладку опытов. Из фильтровальной бумаги готовят по два кружка на каждый сосуд по диаметру дна.

Набивка сосудов почвой. Техника набивки сосуда несложна, но требует определенных навыков, и очень важно, чтобы каждую серию сосудов одной схемы набивал один человек. При этом достигается равномерность уплотнения почвы в сосуде.

Пробной набивкой одного сосуда определяют навеску почвы для всех сосудов. К установленной навеске почвы в соответствии со схемой опыта добавляют навеску удобрений и тщательно перемешивают. Если почва недостаточно увлажнена, добавляют дистиллированную воду до оптимального для набивки увлажнения.

Оптимальной влажностью считается такая, когда почва при сжимании в руке образует ком, легко распадается при выпадении из руки.

Количество дистиллированной воды и растворов удобрений в сумме должно быть одинаковым во всех сосудах. На дно сосуда на марлю слоем 1,5–2 см укладывают увлажненный до 60% ПВ (15 см^3 воды на 100 г песка) кварцевый песок, которым прижимают края марли к стенке сосуда. Затем переносят совком или руками почву в сосуд, все время равномерно ее уплотняя, особенно у стенок сосуда и у трубки, которая должна стоять вертикально в 1,5–2 см от стенки сосуда. При правильно выполненной технике набивки уровень почвы в сосуде должен быть на 2–2,5 см ниже

верхнего края сосуда. Необходимо следить за тщательной очисткой рук и тазов, особенно при переходе от одного варианта к другому. Набивку сосудов следует вести по заранее заготовленной в журнале опыта ведомости, в которой указаны: дата закладки, тема опыта, название, культура, влажность и навеска почвы в сосуде, масса тарированного сосуда, масса сосуда до полива, номера сосудов по каждому варианту схемы и соответствующие им навески удобрений или количества растворов.

В день набивки сосудов в средней пробе почвы определяют влажность (B) и полную влагоемкость (W) почвы, которые вычисляют по формулам:

$$B = \frac{a - b}{b - c} \times 100,$$

где c – масса бюксы, г; a – масса бюксы с почвой до сушки, г; b – масса бюксы с почвой после сушки, г.

$$W = \frac{100(c - b) + B(c - a)}{100(b - a)} \times 100,$$

где a – масса цилиндра, г; b – масса цилиндра с почвой до увлажнения, г; c – масса цилиндра с почвой при полной влагоемкости, г; B – влажность исходной почвы, % на абсолютно сухую почву.

Подготовка семян и посев. Семена для посева могут быть сухими, намоченными и пророщенными, но чистыми в сортовом отношении. Перед посевом семена протравливают: семена зерновых, например, обрабатывают 1%-ным раствором формалина в течение 5 мин, постоянно перемешивая, а затем промывают водой до полного удаления запаха формалина. Проращивают семена в кюветах или противнях, в которые насыпают слоем 1,5–2 см кварцевый песок, увлажняют его до полного насыщения водой и покрывают фильтровальной бумагой, а на нее раскладывают семена. Сверху семена покрывают 1–2 листами фильтровальной бумаги, противень неплотно накрывают стеклом для уменьшения испарения, помещают его в термостат и проращивают семена при температуре 20–25°C. Проросшие семена высевают, когда длина корешков не превышает 0,2–0,4 см, причем, чтобы отобрать семена с одинаковой длиной корешков, на проращивание кладут семян в несколько раз больше, чем нужно для посадки.

Поверхность почвы в сосудах перед посевом выравнивают и увлажняют. С помощью шаблона, обеспечивающего равномерное распределение семян по поверхности сосуда, и стеклянной палочки с пробкой делают лунки глубиной 1,5–2 см. При посеве семена отбирают пинцетом и укладывают в лунки корешками вниз. Разложив семена, их заделывают, надавливая обратным концом пинцета на края лунок. Затем засыпают поверхность почвы тонким слоем кварцевого песка. При посеве сухими семенами проверяют их

всхожесть, которая должна быть близка к 100%.

Высевать надо на 5–10 шт. семян больше, чем должно быть оставлено растений после прореживания. Число растений в сосуде зависит от размеров сосуда и вида растений. В сосудах среднего размера после прореживания оставляют: зерновых – 20–25 растений, бобовых – 10–15, гречихи – 12–15, льна – 35–40 растений. Окончив посев, накрывают сосуды бумагой и ежедневно увлажняют верхний слой почвы; при появлении всходов бумагу убирают.

Уход за растениями. Когда растения окрепнут и минует опасность гибели всходов от вредителей, производят прореживание (доведение числа растений до заданного). Для зерновых, например, это фаза начала кущения.

Прореживая одновременно все сосуды, удаляют поврежденные, слабо и чрезмерно развитые растения, оставляя одинаковое количество наиболее выравненных растений. Удаляемые растения выдергивают с семенами и корнями, помещают в пронумерованные в соответствии с сосудами пакеты, высушивают и взвешивают. Когда растения подрастут, для предохранения их от полегания и поломки во время полива на сосуды надевают каркасы или вставляют в сосуды по четыре палочки одинаковые по массе, между которыми натягивают нитки.

В опытах с почвенными и песчаными культурами чрезвычайно важно соблюдать условие – поддерживать влажность субстрата на оптимальном уровне. Исключением служат опыты, где влажность почвы является изучаемым фактором. Ее обычно поддерживают на уровне 60–70% ПВ. Поддержание желаемой влажности почвы осуществляют поливом растений по массе сосуда. Поливная масса сосуда складывается из масс тарированного сосуда, абсолютно сухой почвы, песка, воды, каркаса, чехла.

Предположим, что согласно определению полная влагоемкость почвы равна 50% абсолютно сухой почвы, а оптимальное увлажнение почвы – 60% ПВ. Следовательно, влажность почвы в сосудах должна быть равна $(50 \times 60)/100 = 30\%$ абсолютно сухой почвы. Влажность почвы при набивке была равна 15%, а навеска сырой почвы – 6 кг на сосуд. Следовательно, навеска абсолютно сухой почвы на сосуд составляет $(6000 \times 100)/115 = 5217$ г, а масса воды при увлажнении почвы на 30% будет равна $(5217 \times 30)/100 = 1565$ г. На почву сверху насыпано 200 г песка, влагоемкость которого близка к 25%, а 60% ПВ соответствует 15% влажности песка и, следовательно, на 200 г песка надо 30 г воды.

Аналогично рассчитывают количество воды на увлажнение песка, уложенного на дно сосуда. Суммируя все слагаемые, получают поливную массу сосуда, которую желательно округлить в большую сторону, например 7890 г до 8000 г, 9550 г до 9600 г, чтобы между поливами влажность колебалась в обе стороны от принятой в опыте, например 60 + 5%.

Обычно полив растений производят, давая половину воды сверху и половину – снизу. Во многих опытах можно поливать почвенные культуры не дистиллированной, а водопроводной водой, последнюю не следует

применять на малобуферных почвах и если реакция почвы или содержание кальция в ней являются изучаемыми факторами. Полив сосудов по массе производят один раз в день. В жаркие дни поливать сосуды приходится два и даже три раза в день, в этом случае один раз поливают сосуды по массе и другой – по объему, давая на каждый сосуд определенное количество воды. При поливах по объему последний определяют путем взвешивания 3–4 сосудов из разных вариантов.

Сосуды с отверстиями в дне (Митчерлиха, Кирсанова и др.) не взвешивают, а поливают по объему, распределяя воду поровну по сосудам до появления воды в поддоне. После обильных дождей сосуды поливают дождевой водой из поддонов, чтобы исключить потери питательных элементов.

Наблюдения, уборка и учет урожая. За растениями ведут фенологические наблюдения и проводят биометрические измерения, результаты которых заносят в журнал. Регистрируют дату наступления фенофаз, разницу в развитии растений фиксируют измерениями или фотографированием. Если предусмотрено программой, отбирают растительные и почвенные пробы (в определенные фазы или периодически – через 15, 20, 30 дней). Пробы берут не менее чем с двух повторностей опыта, после взятия проб сосуды ликвидируют. Поэтому, если программой предусмотрен отбор растительных и почвенных проб, число повторений должно быть 10–12, чтобы к уборке оставалось не менее трех-четырёх повторностей.

За 3–4 дня до уборки растений поливы прекращают. В программе опыта могут быть заложены разные сроки уборки, но обычно она приходится на фазу полной зрелости растений. Зерновые и зернобобовые культуры, а также травы срезают ножницами на высоте 1–2 см от корневой шейки, подсчитывают число растений, стеблей, колосьев (стручков), измеряют высоту растений, длину колоса и укладывают в пакеты с указанием номера сосуда. Затем растения взвешивают до воздушно-сухого состояния в помещении (вегетационном домике, лаборатории и т.д.), взвешивают общий урожай, а после обмолота у зерновых культур учитывают массу зерна, а по разности – соломы.

Растения картофеля и корнеплодов извлекают из сосуда, срезают ботву, клубни и корнеплоды очищают и отдельно взвешивают. Проводя уборку, отбирают средние пробы почвы и растений для агрохимических анализов.

После уборки сопоставляют данные по повторностям каждого варианта. При больших абсолютных урожаях допускаются расхождения между сосудами одного варианта 5–10%, при низких – 25%. Большие расхождения указывают на грубые нарушения в методике и технике проведения вегетационного опыта, и такие опыты бракуются. Результаты опыта статистически обрабатываются для установления степени их достоверности и величины ошибки опыта.

Техника проведения вегетационных опытов с песчаными культурами

Песчаными культурами называют вегетационные опыты, в которых растения выращивают в сосудах с чистым кварцевым песком, обогащенным определенными питательными солями (смесями). В этих опытах изучают роль отдельных элементов, их концентраций и соотношений в питании растений, явления антагонизма и синергизма между различными элементами и другими факторами роста и развития растений, взаимодействие корневых выделений растений с труднорастворимыми питательными веществами и другие разнообразные вопросы питания растений в зависимости от задач исследований. В песчаных, как и в почвенных культурах, можно успешно выращивать растения всех культур без исключения. Для постановки и проведения опытов с песчаными культурами нужны такие же материалы и оборудование, как и для почвенных культур, но вместо почвы и удобрений здесь используют чистый кварцевый песок и химически чистые соли для приготовления питательных растворов.

При постановке опытов с песчаными культурами проводят примерно те же операции, что и с почвенными культурами.

Подготовка песка. В случае присутствия значительных количеств примесей, особенно соединений азота, фосфора и калия, песок надо промыть. При этом в сосуд или цилиндр наливают концентрированную HCl (плотность 1,19) и в нее всыпают песок (не наоборот!). В этом случае вся масса песка смачивается кислотой равномерно, а последующее помешивание толстой стеклянной палочкой способствует более полному растворению всех посторонних примесей. Песок в кислоте выдерживают в течение 3–5 дней. Излишек кислоты сливают сифоном, а песок в течение 5–6 ч промывают водопроводной водой до слабокислой и нейтральной реакции промывных вод (рН 6,7–7,0).

Чтобы ускорить промывание песка, на водопроводный кран с сильным напором воды надевают и закрепляют резиновую трубку, к свободному концу которой с помощью стеклянных двойников или тройников прикрепляют резиновые трубки меньшего диаметра. Каждая трубка должна заканчиваться стеклянным наконечником. Резиновые трубки со стеклянными наконечниками опускают на дно сосуда, цилиндра и при постоянном поступлении воды и перемешивании песок отмывается. После этого промывают песок в течение 1–2 ч дистиллированной водой (рН 7,0) до отрицательной реакции на хлор. Если азотнокислое серебро не дает реакции, то песок можно считать чистым и после удаления избытка промывной воды его высушивают на открытом воздухе.

При небольшом количестве песка можно воспользоваться сушильными шкафами лаборатории. Для удаления кремниевой кислоты, органического вещества, азотных соединений и микроорганизмов песок прокаливают. Температура должна быть около 400°C на поверхности слоя песка 15–20 см.

В зависимости от цели опыта можно ограничиться только тщательным просеиванием через сито для отделения примесей и промыванием песка водой.

Равномерная влажность песка отмечается в слое 20–25 см. При большей высоте сосудов в верхних слоях влажность всегда меньше, чем в нижних. Для устранения этого недостатка и увеличения водоудерживающей способности песка необходимо добавить к нему индифферентное вещество: мелко растолченное стекло, мелко размолотую глину, порошкообразный сернокислый барий, специально подготовленный торф. Песок обладает хотя и слабой адсорбционной способностью, но изменение реакции в песке идет всегда менее резко, чем в водной культуре.

Учитывая, что хороший кварцевый песок – довольно ценный материал, а также сложность его подготовки, необходимо кварцевый песок использовать несколько раз.

Подготовка сосудов. Размеры сосудов зависят от особенностей выращиваемых растений. Например, для зерновых и бобовых культур сосуды должны вмещать 4–8 кг песка, а для корнеплодов и клубнеплодов – 10–20 кг. Так как песок обладает невысокой капиллярностью, сосуды должны иметь высоту не более 20–30 см. Для одной схемы опыта отобранные сосуды должны быть примерно одинакового объема и массы.

В одну группу включают предварительно тщательно вымытые и равные по высоте сосуды, диаметры и масса которых различаются не более чем на 1–2%. Если прозрачные сосуды предварительно не были окрашены вначале черной, а затем белой масляной краской, их обертывают тонким картоном или плотной бумагой, которые тщательно соединяют скрепками для защиты песка и корневой системы растений от света. Для полива снизу стеклянные трубки должны быть диаметром 1–1,5 см и на 2–3 см выше внутренней стенки сосуда. После этого сосуды тарируют с точностью до 1 г, добавляя в них предварительно вымытое битое стекло или гравий, которые одновременно являются дренажным материалом. Количество дренажного материала в сосуде средних размеров не должно превышать 5% массы песка. Если для дренажа применяют конус, то в самый тяжелый сосуд вставляют только его, а в остальные наряду с конусом добавляют гравий или битое стекло для выравнивания массы. Для каждого сосуда заготавливают марлевый кружок диаметром на 3–5 см больше, чем диаметр сосуда, и с отверстием для поливной трубки, расположенным сбоку.

Приготовление питательной смеси. Состав и концентрация питательной смеси должны отвечать требованиям возделываемого растения. В составе питательной смеси должны быть в достаточном количестве и хорошо усвояемой форме все необходимые растению питательные элементы. Питательная смесь должна быть физически уравновешенной с оптимальной реакцией (рН) в течение всего периода вегетации. От правильного выбора и подготовки питательной смеси в значительной, если не в решающей, степени зависят результаты опыта.

Полный перечень питательных смесей привести невозможно из-за их обилия и непрерывного появления новых. Все существующие и вновь появляющиеся питательные смеси различают по набору питательных элементов и солей, в виде которых применяются питательные элементы; по реакции, концентрации и соотношению питательных элементов в растворе.

В песчаных и водных культурах нередко применяют универсальные питательные смеси, состав которых представлен в табл. 3. Соли, отмеченные в таблице звездочкой, целесообразно растворять отдельно, так как в смеси они образуют осадок. Смеси Кнопа и Гельригеля составлялись главным образом эмпирическим путем, а Прянишникова, Белоусова, Ягодина – на основании теоретических предположений.

Таблица 3. Питательные смеси для водных и песчаных культур, мг/дм³ воды или мг/кг песка

Состав смеси	Гель-ригеля	Кнопа	Пряниш-никова	Белоусова (для сахарной свеклы)	Ягодина (для гречихи)	Гильтнера
Ca (NO ₃) ₂ безводная *	492	1000	–	1100	–	–
NH ₄ NO ₃	–	–	240	–	343	–
KH ₂ PO ₄ *	136	250	–	360	263	–
K ₂ HPO ₄	–	–	–	430	–	–
K ₂ SO ₄	–	–	–	–	166	–
Fe ₂ (SO ₄) ₃ · 9H ₂ O	–	–	–	–	40	–
CaHPO ₄ · 2H ₂ O	–	–	172	–	–	–
MgSO ₄ безводная	60	250	60	54	–	–
MgSO ₄ · 7H ₂ O	–	–	–	–	716	250
KCl	75	120	160	–	–	250
FeCl ₃	25	Следы	25	10	–	Следы
NaCl	–	–	–	100	–	–
H ₃ B ₃ O ₃	–	–	–	5	2,86	–
CaSO ₄ · 2H ₂ O	–	–	344	–	–	–
CuSO ₄ · 5H ₂ O	–	–	–	–	0,197	–
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	–	–	–	–	0,44	–
MnSO ₄ · 5H ₂ O	–	–	–	5	2,63	–
CoSO ₄ · 7H ₂ O	–	–	–	–	0,095	–
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	–	–	–	–	0,077	–
CaCO ₃	–	–	–	–	500,5	–
CaCO ₃ (дополнительно через 20 дней)	–	–	–	–	55,5	–
KNO ₃	–	–	–	–	–	36,8
NaNO ₃	–	–	–	–	–	51,2
(NH ₄) ₂ HPO ₄	–	–	–	–	–	250
Fe ₃ (PO ₄) ₂ · 4H ₂ O	–	–	–	–	–	250
(NH ₄) ₂ SO ₄	–	–	–	–	–	64

Устойчивую реакцию среды сохраняют питательные смеси Прянишникова и Белоусова, в состав которых входят труднорастворимые соли.

В связи со значительным улучшением степени очистки питательных солей, песка и воды количество элементов, необходимых для оптимального развития растений, резко возросло. В настоящее время в состав питательных смесей добавляют микроэлементы: бор, медь, цинк, молибден, марганец, кобальт и др.

Растворы микроэлементов (А–Z) по Хокглэнду для универсальных питательных смесей, г:

$\text{H}_3\text{B}\text{O}_3 - 11$	$\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 1,0$
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} - 7$	$\text{TiO}_2 - 1,0$
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} - 1$	$\text{LiCl} - 0,5$
$\text{ZnSO}_4 - 1$	$\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - 0,5$
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 - 1$	$\text{KI} - 0,5$
$\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 1$	$\text{KBr} - 0,5$

Указанные количества солей растворяют в 18 л воды. Добавляют по 1–1,5 см³ раствора в 1 дм³ питательной смеси или 1 кг песка.

Набивка песка в сосуды. В песчаных культурах соблюдают те же правила при набивке сосудов, что и в почвенных. Для определения точной массы песка на сосуд проводят пробную набивку самого маленького из тарированных сосудов, в котором уровень уплотненного песка устанавливают на 0,5–1 см ниже края сосуда, чтобы в самом большом сосуде уровень песка не опускался ниже 2–3 см от края. Отбирают средние пробы песка для определения его влажности и полной влагоемкости. Полная влагоемкость кварцевого песка, просеянного через сито с ячейками 0,5 мм, обычно колеблется в пределах 23–26% массы сухого песка.

В период вегетации в зависимости от вида растений влажность песка поддерживают в пределах 60–70% ПВ, а в период наибольшего развития растений в жаркую погоду повышают до 75%, что может достигаться двукратным в течение суток поливом растений – по массе и по объему. Набивку сосудов проводят при 60%-ной влажности песка; если влагоемкость его 25%, то для достижения 60%-ной влажности нужно добавить 150 см³ воды на каждый килограмм сухого песка в сосуде и, следовательно, общее количество растворов солей не должно превышать указанного объема.

По схеме опыта, записанной в журнале с указанием количества солей (см³ приготовленных растворов или г сухих солей), проверяют номера и этикетки (надписи) на подготовленных сосудах и расставляют сосуды в соответствии со схемой опыта. Навески сухих солей с соответствующими надписями раскладывают в сосуды по вариантам. Бутылки с приготовленными растворами солей и соответствующие нужным объемам мерные цилиндры устанавливают на полке или стеллаже в определенном порядке у рабочего места. В эмалированном тазу отмеренную навеску песка тщательно перемешивают с сухими солями (если их вносят), питательными растворами и, если нужно, с дистиллированной водой (для достижения желаемой влажности). Начинают набивку с тех сосудов, где исключен какой-то элемент (если такие варианты есть в схеме опыта); при переходе от одного варианта к другому следует вымыть руки. Техника набивки сосудов песком такая же, как при набивке сосудов почвой.

Подготовка к посеву, посев семян в сосуды, уход за растениями во время

вегетации, наблюдения и учет урожая проводятся так же, как и в опытах с почвенными культурами. Только после посева семян нет необходимости добавлять песок в сосуды, а во время уборки урожая легче учесть нарастание корневой системы растений, так как отмыть корни от песка значительно проще, чем от почвы.

Контрольную поливную массу сосудов вычисляют так же, как и в опытах с почвенными культурами.

4. Опыты с водной культурой, метод изолированного питания, метод текущей песчаной культуры

В качестве **водной культуры** обычно используется дистиллированная вода и лишь в специальных опытах бидистиллированная. Вода по сравнению с песком более чистый субстрат, но опыты с водной культурой более трудоемки. Эту модификацию вегетационного опыта применяют при изучении периодичности питания растений (для определения оптимальных условий в разные периоды вегетации), особенностей развития корневых систем, влияния реакции и буферности питательной среды на развитие растений.

Опыты с водной культурой проводят в широкогорлых стеклянных или полиэтиленовых сосудах вместимостью 3–5 и более литров, закрытых пробками с отверстиями, в которых растения закрепляются с помощью ватных тампонов или других приспособлений. Крепится каркас, через него пропускают трубки для насыщения питательного раствора воздухом (рис. 15.10). Удобно закреплять растения в широких цилиндрах из пластмассы или других нержавеющей материалов с сетчатым дном, наполненных гравием или гранулированным полиэтиленом. Способы укрепления растений в водной культуре показаны на рис. 4. Сосуды наполняются водой на три четверти объема.

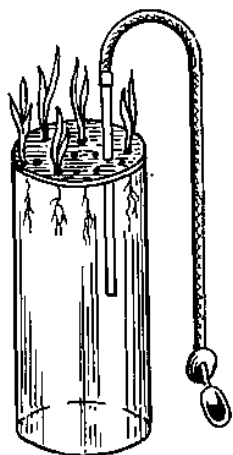


Рис. 4. Стеклянный вегетационный сосуд для водной культуры с трубкой и грушей для насыщения воды воздухом.

В опытах с водной культурой готовят питательные растворы высокой концентрации (в 100–200 раз выше, чем нормальной питательной смеси) и вносят их пипеткой или мерным цилиндром по схеме опыта. Семена проращивают в кюветах с песком, опилками, фильтровальной бумагой. Когда у растений образуются корни длиной 6–7 см, их закрепляют в крышке

вегетационного сосуда. Во избежание перегрева сосудов и появления водорослей на сосуды надевают двойные чехлы (темные внутри и светлые снаружи).

Уход за растениями в опытах с водной культурой включает аэрацию питательного раствора. Резиновой грушей или воздуходувкой воздух продувают через воду один-два раза в сутки по 5–10 мин. Аэрация необязательна, если корни не полностью погружены в раствор (примерно на две трети). В соответствии со схемой опыта 3–4 раза за вегетацию питательные растворы меняют. 2–3 раза в неделю определяют реакцию питательного раствора и добавляют щелочные или кислотные растворы, чтобы значение рН находилось в нужных пределах. По мере испарения жидкости в сосуды доливают дистиллированную воду.

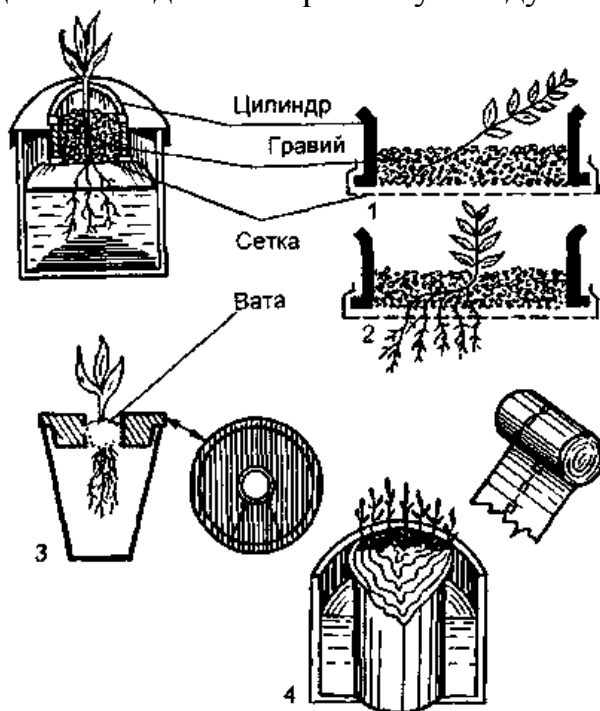


Рис. 5. Способ закрепления растений в водной среде:
1 – в момент посадки; 2 – после укоренения; 3 – кружок из парафинированного
дерева; 4 – питательная среда из фильтровальной бумаги.

Убирают и учитывают урожай в опытах с водной культурой так же, как с почвенной, но кроме основной и побочной продукции учитывается масса корней, анализируются части растений. Данные опыта статистически обрабатывают.

Метод изолированного питания, или разделенной культуры, используется при изучении значения разных солей в питании растений, передвижения элементов питания по корневой системе, выделения питательных элементов растениями, влияния внешних условий (температуры, реакции и др.) на питание растений, влияния взаимодействия двух или нескольких солей на усвоение элементов питания. В опытах с разделенной культурой растения одновременно выращивают на двух

субстратах. Для этого один сосуд помещают в другой и заполняют их разными субстратами. Проростки растений закрепляют так, чтобы одна прядь корней растения получала питание из внешнего сосуда, другая – из внутреннего. Этот метод называют еще методом «всадника» – растение «сидит» на стенке внутреннего сосуда, как всадник на лошади (рис. 6). В опытах с изолированным питанием в качестве субстрата используются песчаные, песчано-почвенные, водные и другие культуры с нормальными или измененными питательными смесями.

Метод текущей песчаной культуры, или протекающих растворов (капельная культура по Демолону), применяется, когда для исследования надо иметь постоянную концентрацию элементов или постоянное соотношение элементов, а также стабильную реакцию среды. В опытах с текущей песчаной культурой питательный раствор из бутылей вместимостью 16–20 л, помещенных на верхней полке установки, с помощью сифона подается в промежуточный сосуд, откуда он под постоянным давлением через сифоны с кранами или зажимами поступает в сосуды с растениями на нижней полке установки (рис. 7). Раствор проходит через песок, омывает корни и вытекает из отверстия в нижней части сосуда. При набивке сосудов питательная смесь в песок не вносится. Питательные смеси (Кнопа, Гельригеля и др.) разбавляют в 5–10 раз и пропускают через сосуды с растениями со скоростью 4 л в день – такой скорости достаточно, чтобы полностью обновить раствор в сосудах и поддерживать на одном уровне состав и реакцию питательной среды.

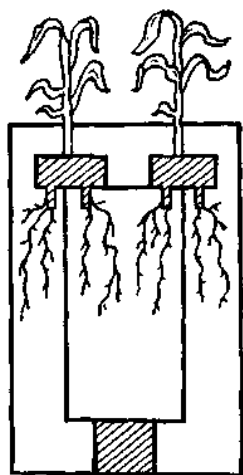


Рис. 6. Метод изолированного питания.

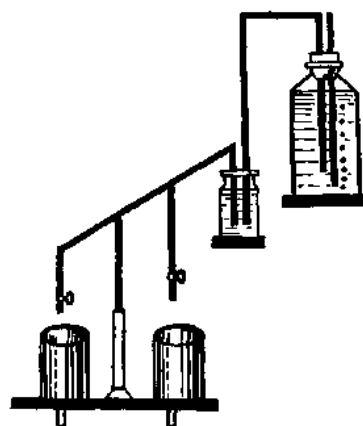


Рис. 7. Метод текущей песчаной культуры.

В опытах со **стерильной культурой** изучаются роль микроорганизмов в питании растений, корневые выделения, питание растений органическими соединениями. Эта модификация вегетационного опыта очень сложна, так как в сосудах субстрат и корневая система должны быть стерильными. Надземная часть растений находится в обычных условиях (рис. 8). Стекланную посуду и песок стерилизуют при температуре 150 °С в течение двух часов, для обработки семян и материалов, не выдерживающих нагрева,

используют антисептики (спирт и др.). Опыты со стерильной культурой ставятся редко, поэтому на технике их проведения мы останавливаться не будем.

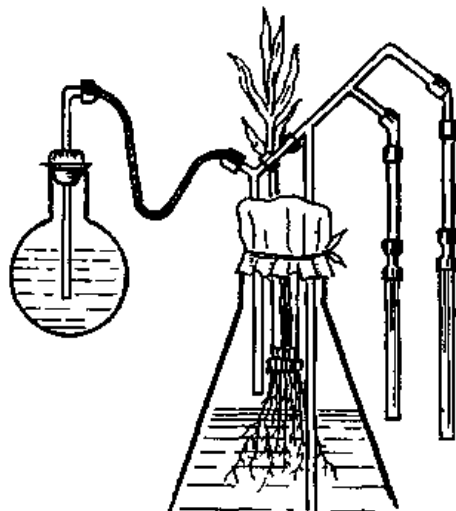


Рис. 8. Стерильная культура.

5. Гидропонное выращивание растений

Гидропоника – это выращивание растений на питательных растворах без почвы. Первые опыты по гидропонике были проведены в 20-х годах XX в. Тогда же был введен термин «гидропоника». Гидропонный метод широко используется как в научно-исследовательской работе, так и в производстве при выращивании овощных культур, цветочных, лекарственных и других растений.

Различают три модификации метода в зависимости от используемой культуры (субстрата): агрегатопоника – когда используются твердые, преимущественно инертные субстраты, периодически увлажняемые питательным раствором; гидропоника – когда используется водная культура (питательный раствор), в которую постоянно погружены корни растений; аэропоника, или воздушная культура, – когда корни растений находятся во влажном воздухе и периодически опрыскиваются питательным раствором. Для выращивания овощных и других культур, а также в исследованиях наибольшее распространение получила культура твердых субстратов.

Для товарного выращивания растений в гидропонных сооружениях используются поддоны, стеллажи, лотки из бетона, железобетона, покрытые битумом, пластмассами и другими материалами различных размеров в зависимости от выращиваемой культуры. Наполнитель (субстрат) должен быть химически инертным, хорошо удерживать воду и воздух. Чаще всего используются гравий (2–20 мм), щебенка (3–150 мм) из гранита, диорита и других магматических пород; вулканические туфы, перлит, вермикулит, керамзит, кирпич, торф, минеральная вата. Белорусские ученые в качестве субстрата предложили ионитные смолы, с которыми можно создать среду в 100 раз питательнее чернозема.

Пригодность субстрата определяют, проращивая на нем в чашках Петри семена или анализируя растворы после взаимодействия с субстратом. Если находят субстрат пригодным, его сортируют, тщательно промывают водой и насыпают слоем 20–30 см в ящики на стеллажах (шириной 70–150 см) или поддоны (шириной 3–10 м и более), дно которых имеет уклон и отверстие для стекания растворов.

Для питательных растворов используется водопроводная вода, содержащая не более 200 мг/л хлора и 150–300 мг/л CaO. Общая концентрация солей не должна превышать 0,2%. Реакция раствора должна поддерживаться на благоприятном для выращиваемой культуры уровне (рН 5–6).

Существует много рецептов питательных растворов (Гелера, В. А. Чеснокова и др.). Рецепт В. А. Чеснокова: на 1000 л воды 500 г калийной селитры, 550 – двойного суперфосфата, 300 – сульфата магния, 200 – аммиачной селитры, 6 – хлорного железа, 0,72 – борной кислоты, 0,02 – сернокислой меди, 0,45 – сернокислого марганца, 0,06 – сернокислого цинка, 0,5 г – йодистого калия. Анализ и корректировку питательного раствора проводят 1-2 раза в неделю. Наряду с питательными растворами в гидропонике используют и сухие смеси, в том числе промышленного производства.

Питательные растворы в субстрат могут подаваться различными способами: одновременно с поливом; дождеванием (периодически); капельным способом (постоянно); способом подпора – когда нижняя часть субстрата постоянно залита раствором. Сухие удобрительные смеси можно рассыпать по субстрату, поливая водой (бенгальский способ).

Рассаду огурцов высаживают в фазе 3–4 настоящих листьев, помидоров – в фазе 9 листьев. При выращивании на зеленую массу для подкормки порослят и кур-несушек зерновых и зернобобовых (пшеница, ячмень, овес, горох или вика в смеси с овсом или ячменем и др.) на 1 м² стеллажа или поддона высевается 4,5–5 кг семян. За один оборот можно получить с 1 м² 25 кг зеленой массы; этого достаточно для ежедневной подкормки 800 порослят или 1600 кур-несушек.

При воздушной культуре (аэропоника) растения растут и развиваются быстрее, чем на других культурах. Растения высаживаются в стакан с перфорированными стенками и небольшим объемом гранулированного субстрата. Корни проходят через отверстия и свободно свисают в светозащищенном пространстве. Глубина резервуара для корневой системы – 20–25 см. В резервуаре размещены форсунки для опрыскивания корней: в начале роста и развития форсунки включаются на 5–10 с через каждые 5 мин, позже, когда корневая система достаточно разовьется, – через 10 мин на более продолжительное время (не менее 10 с). Растения впитывают питательные элементы из задерживающихся на корнях капель, поэтому концентрация раствора должна быть примерно в 10 раз ниже, чем водной культуры. Раствор, стекающий с корней, возвращается в запасной бак.