

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ:
УЧЕБНАЯ ПОЛЕВАЯ ПРАКТИКА**

Учебно-методическое пособие

ТОМСК
2010

УДК 581 (075.3)
ББК 28.573 Я 73
Ф 50

Печатается по решению
учебно-методического совета
Томского государственного
педагогического университета

Ф 50 Физиология растений: учебная полевая практика : учебно-методическое пособие для студентов биологических специальностей педагогических университетов / Авт.-сост. : Е. Е. Фомичев, Е. В. Порохина ; ГОУ ВПО «Томский государственный педагогический университет». – Томск : Изд-во ТГПУ, 2010. – 140 с.

В работе изложена методика постановки полевых, вегетационных и лабораторных опытов в период летней полевой практики по физиологии растений – дисциплины предметной подготовки (ДПП.Ф.03) – для специальности: 050102.65 – «Биология». Тематика работ соответствует Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования.

Пособие предназначено для студентов биологических специальностей педагогических вузов, а также может быть использовано учителями биологии, как при проведении уроков, так и во внеклассной работе.

ББК 28.573 Я 73

Рецензенты:

Р. И. Лещук, канд. биол. наук,
доцент каф. физиологии растений и биотехнологии ТГУ

Г. С. Верхотурова, канд. биол. наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории фотосинтеза
ОСП «НИИ биологии и биофизики Томского
государственного университета»

© Е.Е. Фомичев, Е.В. Порохина, 2010.

© ГОУ ВПО «ТГПУ», 2010.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ.....	6
1.1. Развитие учения о минеральном питании растений	6
2. ПОЛЕВОЙ ОПЫТ	11
2.1. Требования, предъявляемые к полевым опытам и их классификация.....	11
3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВОГО ОПЫТА.....	20
3.1. Планирование исследования	20
3.2. Выбор, изучение и подготовка земельного участка под опыт.....	24
3.2.1. История опытного участка	24
3.2.2. Почва опытного участка	25
3.2.3. Специальные методы изучения и подготовки участка для опыта	26
3.3. Методика полевого опыта	27
3.3.1. Число вариантов опыта	28
3.3.2. Площадь делянки.....	28
3.3.3. Форма делянки.....	29
3.3.4. Повторность опыта.....	30
3.3.5. Методы размещения повторений и вариантов на площади	31
4. ЗАКЛАДКА И ПРОВЕДЕНИЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА НА ТЕМУ «ЭФФЕКТИВНОСТЬ РИЗОТОРФИНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО НА НОВЫХ ШТАММАХ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ГОРОХА».....	37
5. ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД	49
5.1. Почвенные культуры	49
5.2. Выращивание растений в водной культуре на полной питательной смеси Кнопа и с исключением элементов.....	70
6. ВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСТЕНИЙ.....	80
6.1. Определение содержания воды в листьях разных ярусов.....	80
6.2. Явление гуттации	83
6.3. Плач растений.....	85
6.4. Потометрический метод определения скорости поглощения воды растением.....	88
6.5. Определение интенсивности транспирации и относительной транспирации весовым методом	92
6.6. Значение кутикулы и пробки для защиты растения от потери воды	96
6.7. Определение интенсивности кутикулярной транспирации	98

6.8. Сравнение транспирации верхней и нижней сторон листа хлоркобальтовым методом	100
6.9. Водообмен ветки сосны	102
6.10. Наблюдения за устьичными движениями под микроскопом.....	104
6.11. Наблюдения за движениями устьиц в течение дня	106
6.12. Присасывающее действие листьев (демонстрационный опыт).....	110
7. ФОТОСИНТЕЗ	114
7.2. Определение продуктивности фотосинтеза по количеству накопленного сухого вещества (метод половинок)	114
7.2. Определение дневного хода фотосинтеза методом Л.А. Иванова и Н.А. Коссович	116
7.3. Получение отпечатков на листьях с помощью крахмальной пробы	120
7.4. Накопление первичного (ассимиляционного) крахмала в клетках листьев C_3 и C_4 -растений	124
7.5. Влияние внешних условий на интенсивность фотосинтеза водного растения	125
ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СТУДЕНТОВ В ПЕРИОД ЛЕТНЕЙ ПОЛЕВОЙ ПРАКТИКИ	131
Приложение 1.....	135
Приложение 2.....	135
Приложение 3.....	136
Приложение 4.....	136
Приложение 5.....	137
Приложение 6.....	137
Приложение 7.....	138
Приложение 8.....	139

ПРЕДИСЛОВИЕ

Полевая практика по физиологии растений является важным звеном в системе высшего биологического образования и занимает особое место в профессиональной подготовке учителя биологии.

Учебно-полевая практика по физиологии растений проводится в комплексе с занятиями по биологическим основам сельского хозяйства.

Цель полевой практики по физиологии растений заключается в закреплении, расширении и углублении знаний, полученных студентами при изучении теоретического курса.

Основные задачи полевой практики:

- выработать навыки экспериментальной работы;
- познакомиться с современными методами исследований в условиях полевых и вегетационных опытов;
- познакомить студентов с проведением опытов, которые могут быть поставлены в школе.

Только в условиях учебно-полевой практики студент может провести наблюдения над растениями в природной обстановке, изучить динамику физиологических процессов в онтогенезе растений, проследить за суточными ритмами этих процессов, исследовать влияние на них экологических факторов. На полевой практике особенно большое внимание уделяется изучению процессов, лежащих в основе высокой продуктивности сельскохозяйственных культур: работу фотосинтетического аппарата растений, особенности минерального питания и водного обмена и др. При этом важно выработать у студентов умение «выпытывать», по словам К. А. Тимирязева, у растительного организма ответы на поставленные вопросы.

Кроме основных работ, предусмотренных календарным рабочим планом по темам: «Минеральное питание растений», «Водный режим», «Фотосинтез» студенты выполняют и индивидуальные задания методического и экспериментального характера. Результаты исследований, полученные студентами, используются ими не только в отчетах по итогам полевой практики, но и при выполнении курсовых и дипломных работ.

1. МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

1.1. Развитие учения о минеральном питании растений

Минеральное питание растений включает процессы поглощения минеральных ионов из внешней среды, их связывания и транспорта по клеткам и тканям к местам потребления.

Элементный минеральный состав биосферы формируется главным образом благодаря поглотительной деятельности корневой системы растений. Не случайно один из известных физиологов Е. Эпштейн (Кузнецов, Дмитриева, 2005) образно назвал растения шахтерами земной коры, которые обеспечивают необходимыми минеральными элементами не только себя, но и другие организмы.

Наземные растительные организмы в естественных условиях получают необходимые минеральные вещества из почвы. В этом случае корни оказываются в сложной системе биологических и физико-химических взаимоотношений между почвенными частицами, почвенным раствором, почвенными микроорганизмами. Необходимо также учитывать активность почвенных беспозвоночных и позвоночных животных.

Ионы минеральных солей могут поступать в клетки корневой системы растений как из почвенного раствора, так и в результате контактного обмена с почвенными частицами. Оба эти процесса обычно связаны с обменом ионов H^+ на катионы и анионы HCO_3^- , OH^- и органических кислот на минеральные анионы. Большая часть питательных минеральных веществ находится не в почвенном растворе, а адсорбирована на почвенных частицах. Поэтому в минеральном питании растений большое значение имеет процесс обменной адсорбции, которая осуществляется как на неорганической (алюмосиликатной), так и на органической (гумусной) части почвы. В основном почвы обладают свойствами катионообменников, хотя в них имеются и анионсвязывающие группы.

Поступив в клетку, одни катионы и анионы участвуют в метаболизме в форме свободных ионов, другие связываются с органи-

ческими соединениями, не претерпевая при этом никаких изменений, а третьи же включаются в состав органических молекул только после ряда окислительно-восстановительных превращений.

Вопрос о том, чем питаются растения, издавна интересовал ученых. Аристотель (384–322 гг. до н. э.) – древнегреческий философ утверждал: «Растение – это животное, поставленное на голову, органы размножения у него наверху, а голова внизу. С помощью корней, играющих роль рта, растение извлекает из земли совершенно готовую пищу....». Это представление в конце XVIII – начале XIX в. было развито немецким агрономом А. Тэером, который разработал «гумусовую теорию» питания растений. Давно уже было известно, что чем темнее почва, тем она плодороднее. Темный цвет почвы зависит от содержания в ней различных органических остатков или гумуса (перегноя). Согласно гумусовой теории, растения питаются водой и гумусом.

Однако первый физиологический эксперимент с целью изучения питания растений был проведен голландским естествоиспытателем Я. Б. Ван Гельмонтом в 1629 году. Он пять лет выращивал иву в сосуде, содержащем взвешенное количество почвы. Полив производился дождевой или дистиллированной водой. Определение веса в конце опыта показало, что масса растения увеличилась более чем в 30 раз, в то время как убыль в весе почвы была незначительна (56,6 г). О значении CO_2 в процессе фотосинтеза Я. Б. Ван Гельмонт не подозревал, поэтому решающую роль отвел воде. Этот опыт послужил основой для «водной теории» питания растений, которая длительное время существовала в ботанике.

Однако постепенно накапливались сведения о роли минеральных элементов в питании растений. Русский агроном А. Г. Болотов (1770), в своей книге «Об удобрении земель», разработал приемы внесения удобрений в почву и перечислил 53 вида удобрений, пригодных для применения в сельском хозяйстве.

Швейцарский ученый Н. Соссюр (1804) систематизировал сведения о питании растений и пришел к выводу, что различные соли и селитру растения берут из почвы. Французский агрохимик

Ж. Б. Буссенго (1837) показал, что растения можно выращивать и на чистом песке, если вносить в него минеральные соли (песчаные культуры).

Дальнейшее развитие взглядов о почвенном питании растений находим в работах Ю. Либиха (1840), который обосновал теорию минерального питания растений. По этой теории основой плодородия являются минеральные вещества почвы. Он первым предложил вносить в качестве удобрений чистые минеральные вещества. Ю. Либих сформулировал «закон минимума», согласно которому, внесение любого количества не дает прироста урожая, пока не будет ликвидирован недостаток веществ, содержащихся в минимальном количестве, а также «закон возврата», указывающий на необходимость возврата в почву питательных веществ, поглощенных растениями. Он утверждал, что несоблюдение принципа полного возврата должно привести к истощению почвы и падению ее плодородия. В целом эти положения верны, но некоторые последователи Либиха вывели из них «закон убывающего плодородия почв». Практика современного земледелия показала полную несостоятельность этого псевдозакона. Урожайность сельскохозяйственных культур при правильной агротехнике и внесении минеральных удобрений постоянно возрастает.

Особенно большое значение для выяснения роли разных элементов в жизни растений имели опыты И. Кнопа и Ю. Сакса (1859). Они показали, что вполне возможно вырастить нормальное растение на воде до полного созревания при его обеспечении шестью элементами: K, Ca, Mg, P, S, Fe (кроме органоидов: C, O, H, N). Эти опыты окончательно утвердили теорию минерального питания растений и создали основу для использования вегетационного метода, в том числе водных и песчаных культур в научной работе. Питательный раствор, разработанный Кнопом, используется до сих пор, как в научной работе, так и в практике.

Растения способны поглощать из окружающей среды практически все элементы периодической системы. Между тем для нормального жизненного цикла растительного организма необходима лишь определенная группа основных питательных элементов, функции которых в растении не могут быть заменены

другими химическими элементами. В эту группу, как отмечает В. В. Полевой (1989), входят следующие 19 элементов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера, калий, кальций, магний, железо, марганец, медь, цинк, молибден, бор, хлор, натрий, кремний, кобальт. Среди этих основных питательных элементов лишь 16 являются собственно минеральными, так как С, Н, и О поступают в растения преимущественно в виде CO_2 , O_2 и H_2O . Необходимость Na, Si и Co пока не установлена.

Первые четыре элемента – С, Н, О и N – называют органогенами и на их долю от сухого веса растений приходится 95 %. Оставшиеся 5 % приходятся на зольные элементы: К, Са, Mg, P, Si и др. О минеральном составе растений обычно судят по анализу золы, оставшейся после сжигания сухих растений. Содержание минеральных элементов в растении выражают, как правило, в процентах по отношению к массе сухого вещества или в процентах к массе золы. Перечисленные выше вещества золы относят к **макроэлементам**.

Элементы, которые содержатся в ткани в концентрациях 0,001 % и ниже от сухой массы тканей, называют **микроэлементами**. Некоторые из них играют важную роль в обмене веществ (Mn, Cu, Zn, B и др).

Наиболее богаты минеральными элементами листья, у которых зола может составлять от 2 до 15 % и более от массы сухого вещества. Минимальное содержание золы (0,4–1 %) обнаружено в стволах деревьев.

Количество золы в составе растений в значительной мере определяется видовыми особенностями растений, плодородием почвы и погодными условиями. Как правило, чем богаче почва и суше климат, тем выше содержание золы в растении. В связи с крайне сложными соотношениями, имеющими место при усвоении растениями минеральных веществ из почвы, трудно определить степень ее плодородия на основании только химических анализов.

Полный анализ почвенных образцов даже самых неплодородных почв показывает, что в их составе имеется достаточное количество необходимых химических элементов. Однако такой

анализ не дает ответа на вопрос о доступности для растений обнаруженных химических элементов. Полный анализ дает представление о потенциальном количестве минеральных веществ, которые могут быть использованы растениями. Данные валового анализа почвы являются, таким образом, преувеличенными с точки зрения доступности для растений минеральных веществ. С другой стороны, анализ почвенного раствора или искусственно приготовленных водных вытяжек из почвы также дает неправильные представления о питательном достоинстве почвы, но с ошибкой уже в другую сторону, именно в сторону преуменьшения ее плодородия.

Недостатки чисто химических анализов почвы побудили исследователей обратиться к использованию методов иного рода, где реактивом на плодородие почвы служит уже само растение. Это вегетационные и полевые методы исследования.

2. ПОЛЕВОЙ ОПЫТ

2.1. Требования, предъявляемые к полевым опытам и их классификация

Особенность полевого опыта как важнейшего метода экспериментального изучения основных вопросов полеводства, отличающая его от других методов исследования, состоит в том, что культурное растение изучается вместе со всей совокупностью почвенных, климатических и агротехнических условий, очень близких к производственным. Только полевой опыт может установить связь между урожаем и средством воздействия на него. Кроме того, существует ряд вопросов, которые вообще не могут быть изучены вне полевой обстановки, вне полевого опыта. Это, например, система обработки почвы и уход за растениями, севооборот, применение удобрений в севообороте, сочетание удобрений и гербицидов с другими агротехническими приемами, механизация уборки, продуктивность различных сортов и т. д.

Полевой опыт связывает теоретические исследования в агрономии с сельскохозяйственной практикой. Результаты полевых опытов, подкрепляющие выводы теоретического исследования и обобщения практических наблюдений, могут быть достаточно убедительным основанием для широкого внедрения новых средств повышения урожаев – агротехнических приемов, новых сортов, удобрений и т. д. Все это выдвигает полевой опыт в качестве основного, важнейшего метода исследования в полеводстве.

В специальной литературе имеются разные определения полевого опыта, но на наш взгляд, наиболее точным является определение профессора П. Г. Найдина (Методика полевого опыта, 1959): *«Полевой опыт представляет собой исследование, осуществляемое в полевой обстановке на специально выделенном участке в целях установления влияния факторов жизни, условий или приемов возделывания на урожай сельскохозяйственных растений и его качество»*. Это определение устанавливает признаки, ограничивающие по-

левой опыт от других методов агрономического исследования и раскрывает его сущность. Полевой опыт свободен от искусственности вегетационного и лизиметрического опытов и проводится в условиях, близких к производству.

Из данного выше определения полевого опыта вытекают и основные требования методики. Важнейшие из них следующие: типичность, соблюдение принципа единственного различия, проведение опыта на специально выделенном и достаточно выровненном по плодородию участке, обязательный учет урожая и точность.

Под *типичностью полевого опыта* понимается соответствие условий его проведения почвенно-климатическим, агротехническим и производственным условиям данного района или зоны. Совершенно очевидно, что нет смысла изучать приемы повышения плодородия песчаных почв и проводить на них сортоиспытание, если результаты работы предполагается использовать на глинистых почвах. Что касается второго требования, а именно *соответствия условий проведения опыта агротехническим и производственным условиям*, то оно в различных типах полевого опыта выполняется по-разному. Полностью это требование выдерживается в полевых опытах, которые проводятся непосредственно в производственной обстановке. Однако в ряде случаев, особенно на первых этапах исследования (мало семян, новый вид гербицидов, удобрения и т. д.), это требование выполняется не полностью, и полевой опыт проводится в некотором отрыве от типичных производственных условий. Такие полевые опыты получили название **лабораторно-полевых**.

Следует отметить, что к требованию типичности относится также требование проведения любого опыта при общем высоком уровне агротехники. Опыты, проведенные при низком уровне агротехники, не имеют производственной ценности. Часто бывает неоправданным выбор для полевого опыта, особенно с удобрениями, некультуренной почвой. Это хотя и обеспечивает получение результатов, производящих большое впечатление, но далеко от практических условий обычных старопахотных почв. Совершенно очевидно, что на бедных почвах изучаемые в опыте

удобрения будут эффективнее даже при более низком общем уровне урожаев. Поэтому достоверность выводов из опытов, проведенных на окультуренных почвах при высоком уровне агротехники, значительно выше; использовать результаты таких опытов можно шире, чем тех, которые проводятся на неокультуренных землях при низком уровне агротехники.

Требование проведения опытов при высоком уровне агротехники диктуется также тем, что результаты опытной работы внедряются не сразу, а через некоторое время, в течение которого хозяйства повысят культуру земледелия и если бы научные учреждения ориентировались на современный средний уровень агротехники, то их рекомендации не имели бы большой цены.

Соблюдение *принципа единственного логического различия* – важнейшее требование методики полевого опыта и в то же время самое трудное и спорное как при проведении опыта, так и особенно при истолковании его результатов.

Опыт, построенный по принципу единственного различия, имеет как минимум два варианта; все условия получения урожая в обоих вариантах должны быть совершенно одинаковы, тождественны, за исключением одного «единственного», которое в одном варианте имеется, а в другом отсутствует. Например, в одном варианте вносят удобрения, а в другом нет, все же остальные условия в обоих вариантах одинаковы. В опытах, поставленных по принципу единственного различия, варианты могут отличаться качественно (наличие или отсутствие) или количественно (разные дозировки) только одним условием, которое рассматривают как эффект действия изучаемого фактора. В опыте, поставленном по этому методу, вариантов может быть много. В этом случае необходимо, чтобы все варианты отличались друг от друга лишь по одному признаку или варианты могли сопоставляться друг с другом парами, которые также должны различаться единственным признаком.

В качестве примера рассмотрим следующую схему опыта с удобрениями:

1. Без удобрения (контроль).
2. Удобрено навозом.

3. Удобрено NPK.

4. Удобрено навозом и NPK.

Сопоставляя урожаи второго и третьего вариантов опыта с урожаем контроля, мы можем установить эффективность органических и минеральных удобрений на неудобренном фоне. Сравнение урожаев второго и третьего вариантов с урожаями четвертого варианта покажет нам эффект от внесения навоза и NPK, но соответственно на фоне минеральных и органических удобрений. И, наконец, разность между урожаями варианта навоз + NPK и контроля характеризует совместное действие органических и минеральных удобрений.

Принцип единственного логического различия – неперемное условие всякого научного эксперимента. Но единственное различие не следует понимать механически, под этим принципом понимается главное, изучаемое различие. Например, предположим, в опыте сравниваются два сорта пшеницы, которые вследствие биологических особенностей по-разному реагируют на изменение густоты посева. Казалось бы, что для сравнения урожайности двух сортов необходимо применять одинаковую норму посева. Однако если сравниваемые сорта по биологическим особенностям (способности куститься и т. д.) требуют различной густоты посева, то их нельзя высевать одинаковой весовой нормой, так как при этом один из сортов оказался бы в заведомо невыгодных для сравнения условиях. Более правильно сравнивать урожаи не при одинаковых, а наиболее оптимальных для каждого сорта нормах сева. Сходные вопросы возникают и в других случаях – в отношении сроков сева, уборки, обработки почвы, удобрений и т. д. Во всех этих случаях принцип единообразия должен пониматься как принцип целесообразности и оптимальности.

Таким образом, из этих примеров видно, что при постановке опытов нельзя подходить формально к принципу единственного различия.

Требование проведения полевого опыта на специально выделенном участке с хорошо известной историей – это логическое следствие требования принципа единственного различия. Оно также обязательно для любого полевого опыта. В практике опытного дела это

требование методики нередко игнорируют, опыты закладывают на участках, история которых неизвестна, в связи с чем результаты таких опытов невозможно понять, интерпретировать и тем более использовать. Без знания прошлого нельзя понять настоящего и совершенно невозможно представить себе будущее. Требование методики проводить опыты на специально выделенном участке чаще всего нарушается производителями. Они полагают, что гораздо проще и убедительнее ставить опыты не на специально выделенном однообразном участке, а на целых полях севооборота, с заведомо разной историей и неодинаковыми условиями. Такие опыты, особенно единичные, не могут дать удовлетворительных результатов. Нельзя называть полевым опытом какие бы то ни было испытания приемов агротехники или сортов, если их проводят на случайных участках, с отсутствием элемента сравнения.

Требование учета урожая и точности полевого опыта – являются важнейшими показателями исследовательской работы. Урожай и его качество в полевом опыте – главные и решающие арбитры при характеристике изучаемых вариантов. Однако как без учета урожая нет полевого опыта, так и без статистической характеристики его точности не может быть и речи о доброкачественности экспериментальной работы. Показатель точности полевого опыта ($m\%$) и есть тот простейший критерий, который характеризует качество опытной работы. Не зная точности опыта – этой своеобразной шкалы «полевых экспериментальных весов», невозможно судить о существенности (достоверности) различий между изучаемыми вариантами.

Точность полевого опыта – это обобщенный статистический показатель, количественно характеризующий изменчивость результатов исследования. Понятие «точность опыта» противопоставляется его ошибочности. Чем меньше случайных ошибок в полевом опыте, тем выше точность и наоборот. Основные причины возникновения случайных ошибок в полевом опыте следующие: 1) технические ошибки проведения опыта; 2) неоднородность плодородия почвы опытного участка; 3) индивидуальная изменчивость растений; 4) механические повреждения растений

и повреждение их болезнями и вредителями. Все эти причины варьирования урожаев, которые называют случайными, в той или иной степени сказываются на проведении любого опыта, и часто мы не можем их непосредственно учесть и регулировать. Величины отклонений урожаев от возможных при условии отсутствия этих причин называют **случайными ошибками**.

В математическом отношении **точность опыта** – это случайная ошибка, выраженная в процентах к среднему урожаю по опыту. Если средний урожай в опыте обозначить через \bar{x}_0 , величину обобщенной случайной ошибки среднего через m , то точность опыта m % будет определяться соотношением:

$$m \% = \frac{m}{\bar{x}_0} \times 100 \quad (1)$$

Требования к точности полевых опытов изменяется в зависимости от задач опыта, величины ожидаемого эффекта от изучаемого приема и т. д. Поэтому широко распространенное представление единой общепринятой точности полевого опыта в 5 % неверно. Опыты, в которых ожидаются большие прибавки урожая, имеют меньшую точность, чем опыты, в которых изучаются тонкие различия. От основных, стационарных и многолетних опытов требуется большая точность, чем от ориентировочных, разведочных. Лишь в качестве ориентировочных критериев можно считать, что для агротехнических опытов допустима точность в пределах 4–8 %, для опытов в сортоиспытании – 3–4 %, для вегетационных, лизиметрических и микрополевых – 2–3 %, а для полевых и лабораторных наблюдений – не более 1–3 %.

Кроме точности, опыты должны характеризоваться *достоверностью*. Под **достоверностью опыта** по существу имеют в виду логически правильную схему и методику проведения опыта, правильный выбор объекта и условий проведения данного опыта.

Опыты, соответствующие поставленной в исследовании задаче, т. е. достоверные для ее решения, характеризуются математическими показателями достоверности или существенности. Различия между средними урожаями или другими показателями называют **существенными (достоверными)**, если они превышают определенные математические нормативы. Отсутствие мате-

математической достоверности показывает, что между данными величинами нет существенных различий. Это, однако, не означает, неудачу опыта, а указывает на то, что оба приема по эффективности равноценны. Такой вывод часто бывает более важным, чем установление существенных различий. Например, если в опыте различия между урожаями культур, выращенных по фону минеральных и органических удобрений, несущественны, то значит, эти виды удобрений равноценны. Такой вывод практически важнее, чем установление большого преимущества органических и минеральных удобрений.

Понятие точности и математической существенности (достоверности) являются неидентичными, хотя и связаны до некоторой степени. Точность опыта указывает на величину случайных ошибок в опытном материале, характеризует методику и технику проведения исследования. Математическая существенность характеризует эффективность изучаемого приема. В связи с этим неточный опыт ($m \% \geq 10$) может иметь математически существенные различия, если прием дает высокие прибавки, превышающие ошибки опыта, и, наоборот, точный опыт ($m \% = 2-4$) может не иметь их, если прием дает незначительный эффект.

Полевые опыты по их важнейшему качеству – типичности, делят на две группы: *лабораторно-полевые* и *полевые опыты в производственной обстановке (условиях)*. Первая группа опытов имеет в виду соответствие условий их проведения почвенным и климатическим условиям района или зоны, но предполагает некоторый отрыв от производственных условий.

В опытах второй группы достигается наибольшее приближение условий исследования к типичной производственной обстановке. В связи с этим лабораторно-полевые опыты дают возможность получать лишь количественную агротехническую эффективность агроприема или сорта, которая определяется прибавкой урожая или улучшением качества. Полевые опыты в производственных условиях наряду с агротехнической эффективностью могут дать и производственную и экономическую сумму изучаемых приемов или их сочетаний.

Некоторый отрыв лабораторно-полевых опытов от типичной производственной обстановки обусловлен тем, что эти опыты направлены на выявление новых закономерностей, познание сущности явления, разработку новых агроприемов, оценку новых сортов и т. п., то есть того, чего еще нет в производстве, а следовательно и трудно испытать в типичных хозяйственных условиях. Лабораторно-полевые опыты – это как бы первая ступень к сближению условий исследования с условиями производства.

Проведение полевых опытов в соответствии с требованиями методики – дело сложное, требующее большого внимания, затрат средств и большого терпения. В связи с этим такие опыты должны проводиться тогда, когда в этом действительно имеется необходимость. Например, для разработки принципиально новых приемов агротехники, сравнения эффективности новых удобрений, гербицидов или способов их применения, оценки новых сортов и т. д.

Методом полевого опыта широко пользуются в исследовательской работе все звенья научных учреждений по сельскому хозяйству. Более сложные опыты лабораторно-полевого типа проводят, как правило, высшие звенья научно-исследовательских учреждений: научные институты, университеты, опытные станции; полевые же опыты в производственных условиях осуществляют опорные пункты институтов, университетов, опытно-показательные передовые и фермерские хозяйства.

В зависимости от количества изучаемых факторов, длительности проведения и охвата почвенно-климатических условий, полевые опыты могут подразделяться на однофакторные, многофакторные, краткосрочные, многолетние, географические, массовые и др.

По месту проведения опыты делятся на стационарные (на участках опытных учреждений) и производственные (на полях сельскохозяйственных учреждений).

По количеству изучаемых вопросов опыты бывают **однофакторные**, когда изучают один фактор (например, удобрение приемы обработки почвы) на одном агротехническом фоне и **многофакторные или комплексные**, когда один фактор изу-

чают на разных фонах. Например, изучение удобрений, обработки почвы или сортов при двух предшественниках или при разных сроках сева.

В зависимости от длительности проведения опыты делят на краткосрочные (одно–трехлетние) и многолетние.

Различают опыты единичные и массовые. **Единичные опыты** проводятся отдельными учреждениями независимо друг от друга. **Массовые опыты** объединены одной темой и их проводят одновременно в нескольких точках страны. Примером массовых опытов может служить сортоиспытание, сеть географических опытов с удобрениями и т. д. Такие опыты проводят по заданию Министерства сельского хозяйства страны или Академии сельскохозяйственных наук или других учреждений.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Организация полевого опыта включает:

- 1) планирование исследования;
- 2) выбор, подготовку и изучение земельного участка;
- 3) разработку методики опыта.

3.1. Планирование исследования

Научному исследованию в сельском хозяйстве (или в физиологии растений), так же как и в других областях, предшествует подготовительный период. Он включает:

- 1) выбор темы, определение задачи и объекта исследования;
- 2) изучение и критический анализ истории и современного состояния вопроса;
- 3) создание рабочей гипотезы;
- 4) составление программы и методики исследования.

Успех опытной работы зависит от правильного выбора темы исследования. Первый и основной источник тем для исследования – это прямые заказы практического сельского хозяйства. Тема изучения должна быть определенной, четко сформулированной, а не расплывчатой, актуальной и соответствовать материальной базе кафедры.

Следующий важный этап подготовительного периода – изучение литературы по данному вопросу и создание рабочей гипотезы. Опыты никогда нельзя закладывать, пока не проведено полное изучение предшествовавших исследований. При изучении литературы главное внимание должно быть обращено не столько на учебники, сколько на монографии, журнальные и научные статьи, диссертации, научные отчеты и другие источники. Надо отметить, что часто в незаметном скромном исследовании, в короткой статье встречается больше правильных положений и оригинальных мыслей, чем в сложных исследованиях и хорошо изданных толстых книгах. В результате анализа литературных

данных должно быть получено четкое представление о том, что по данному вопросу выяснено и твердо установлено, что осталось неясным, вызывает сомнения и требует проверки, и, наконец, что осталось совершенно нерешенным. Знание литературы дает возможность создать рабочую гипотезу, разработать программу и методику исследования.

Рабочая гипотеза – это научное предположение о развитии явлений, на котором основывается объяснение ожидаемых в опыте результатов. Она строится на основе ранее установленных закономерностей изучаемого явления и тех новых идей, которые вносит исследователь в данную проблему. Без выдвижения и последующей экспериментальной проверки гипотез невозможно проникновение в сущность явлений. Вся история развития науки с этой точки зрения есть история формирования все новых и новых гипотез, отбрасывания неверного в них и приближения ко все более правильному познанию действительности путем превращения оправдывающихся гипотез в теории. Следует отметить, что между научной гипотезой и теорией есть существенное различие. Гипотеза по мере развития может быть отвергнута в главном. Теория по мере развития науки уточняется или ограничивается, но сохраняет свои главные положения и в той или иной форме входит в сокровищницу абсолютной истины, постигаемой человечеством.

Заключительный этап подготовительного периода исследовательской работы – разработка программы, в которой намечаются способы проверки рабочей гипотезы. Программа исследования представляет собой проект намеченного хода эксперимента, в котором указывают точные границы опытной работы, схемы опытов, описывают сопутствующие условия проведения опытов и наблюдений, приводят методику и основные элементы техники эксперимента. Наиболее сложный вопрос, который приходится решать исследователю при составлении программы – это схемы будущих опытов.

При построении схем однофакторных опытов с несколькими градациями изучаемого фактора, например, нормы высева, доз удобрений или глубины обработки почвы и т. п., обычно не

возникает затруднений. Необходимо так составить схему опыта, чтобы она позволяла получать кривую урожаев при различных градациях изучаемого фактора. Поэтому обычно бывает достаточно иметь в таких однофакторных опытах четыре – шесть градаций. Однако чаще всего в полевом опыте одновременно изучают два фактора и больше. Например, действие удобрений (первый фактор), обработки почвы (второй фактор) и полива (третий фактор). В подобных случаях наиболее правильным построением схемы многофакторного опыта будет такое, которое включает все возможные сочетания изучаемых факторов. Схемы, построенные таким образом, называют **факториальными** или **ортогональными**.

В качестве примера наиболее простой факториальной схемы может служить опыт с изучением двух факторов, которые испытываются в двух градациях. Такой факториальный опыт, который обозначается 2×2 или 2^2 , имеет четыре варианта. Например, при изучении двух видов удобрений (азотных и фосфорных) схема этого опыта будет следующей:

1) без удобрений (0); 2) N; 3) P; 4) NP.

Если в этот опыт мы включим третий фактор, допустим калий и также в двух градациях, то получим факториальную схему – $2 \times 2 \times 2$ или 2^3 . В опыте с тремя факторами при двух градациях каждого фактора будет уже восемь вариантов:

1) (0); 2) N; 3) P; 4) K;
5) NP; 6) NK; 7) PK; 8) NPK.

Факториальное построение опыта дает сведения не только относительно действия каждого вида удобрения, но и их взаимодействия при совместном внесении. Полная схема дает возможность получить максимум того, что может дать опыт. Поэтому там, где нет особых препятствий к проведению опыта по факториальной схеме, ей нужно отдать безусловное предпочтение. В качестве второго примера полной факториальной (многофакторной) схемы 2^3 приведем схему опытов по испытанию обработки почвы, гербицидов и удобрений:

1. Обычная обработка без удобрений и гербицидов.
2. Обычная обработка + удобрения.

3. Обычная обработка + гербицид.
4. Обычная обработка + удобрения + гербицид.
5. Новая обработка почвы без удобрений и гербицидов.
6. Новая обработка + удобрения.
7. Новая обработка + гербицид.
8. Новая обработка + удобрения + гербицид.

По такому же принципу могут быть построены схемы других многофакторных опытов. Применение полных факториальных схем очень полезно и незаменимо при выяснении взаимодействия различных факторов, например, органических и минеральных удобрений, при изучении влияния новых видов обработки почвы, гербицидов и минеральных удобрений и т. д. Взаимодействие факторов может быть положительным, когда прибавка урожая от совместного применения их больше, чем сумма прибавок от действия каждого фактора в отдельности, и отрицательным, когда прибавки от совместного действия меньше, чем сумма прибавок от изучаемых факторов по отдельности. Совершенно очевидно, какое важное значение имеют исследования, направленные на разработку такого сочетания приемов, которое может способствовать положительному взаимодействию факторов. Чаще всего оно проявляется при сочетании разноименных факторов и, наоборот, сочетание факторов, действующих в одном направлении, часто ведет к отрицательному результату, который указывает на практическую целесообразность раздельного применения этих факторов. Все это свидетельствует о том, что при планировании многофакторных опытов в комплекс необходимо включать разноименные факторы.

Таким образом, осуществление полной факториальной схемы в полевом опыте позволяет одновременно решать ряд разных вопросов и значительно увеличивает ценность результатов, давая возможность получать сведения о взаимодействии изучаемых факторов, что невозможно выявить при постановке однофакторных полевых опытов.

3.2. Выбор, изучение и подготовка земельного участка под опыт

Земельный участок для опыта должен быть *типичным*, то есть соответствовать свойствам, плодородию и рельефу почв соответствующего района. Это важнейшее требование к земельному участку. Следующее требование к земельному участку – *однородность почвенного покрова*, обеспечивающая достаточную точность результатов опыта. Наличие ровной поверхности – одно из основных условий пригодности участка для опыта. Однако выбор идеально плоского горизонтального участка сколько-нибудь значительной площади возможен лишь в условиях степи или при использовании территории осушенных торфяников. Поэтому не только трудность выбора участка, не имеющего склона, но и соображения типичности заставляют допускать наличие на опытном участке умеренного склона. Однако этот склон должен быть односторонним и равномерным. Недопустимо расположение в пределах участка опыта склонов, обращенных к различным сторонам света, резких изменений крутизны склона и особенно наличие замкнутых понижений (западин, блюдце).

Выделить по возможности однородный земельный участок для полевого опыта часто бывает довольно трудно. Поэтому, чтобы правильно выбрать участок, отвечающий основным требованиям методики, необходимо изучить его историю, почву, рельеф, засоренность сорняками и учесть ряд возможных случайных факторов.

3.2.1. История опытного участка

Нельзя закладывать опыты на участках, история которых неизвестна. Необходимо убедиться, что в течение последних 3–4 лет на этом участке ежегодно высевалась одна культура, применялась единая система удобрения, обработки почвы, хотя по годам обработка, удобрения и предшественники могут быть различными. Однообразными на всем участке должны быть особенно те агротехнические приемы, которые резко и на длительный период изменяют плодородие почвы, например, известкование,

систематическое внесение органических удобрений, углубление пахотного слоя, дренаж и др.

Желательно, чтобы сам экспериментатор в течение нескольких лет следил за историей будущего опытного участка, так как результаты опытов, проведенных на полях с неизвестной историей, теряют всякую ценность потому, что понимание полученных в опыте результатов часто невозможно без ясного представления о предшествующей истории земельного участка. Кроме того, при выборе опытного участка следует обратить внимание на случайные факторы, которые могут нарушать однородность условий будущего опыта. В частности, не следует располагать опыты ближе, чем в 50–100 м от жилых домов, животноводческих построек, сплошного леса или ближе 25–30 м от больших деревьев и др.

Необходимо также учесть все другие возможные причины случайной пестроты опытного участка: стоянки скота, остатки строений, бывшие дороги, арыки и т. д. Наличие на участке указанных случайных факторов почвенной неоднородности недопустимо, так как они оказывают очень длительное последствие на плодородие почвы.

3.2.2. Почва опытного участка

После того как установлено, что по истории земельный участок удовлетворяет предъявляемым требованиям, приступают к изучению почвы.

Для определения почвенной разности, степени однородности и глубины залегания грунтовых вод проводят почвенное обследование, используя обычные методы: почвенные разрезы, прикопки. На основании почвенного обследования составляют почвенную карту в масштабе 10–25 м в 1 см и дают почвенную характеристику опытного участка.

Чтобы иметь характеристику почвы и составить почвенную карту, описывают почвенные разрезы и прикопки и определяют: тип почвы, ее механический состав, мощность гумусового горизонта. Кроме того, отбирают образцы почвы в пахотном горизонте (0–10 см и 10–20 см и далее, в зависимости от цели исследования) и определяют в них содержание гумуса, подвижных форм

азота, фосфора и калия, а также кислотность почвы по общепринятым методикам. Но как бы детально ни было проведено почвенное обследование, оно не может выявить микрострату почв. Поэтому очень важно глазомерное наблюдение за состоянием культурных растений на будущем опытном участке в год, предшествующий закладке опыта. Такое наблюдение позволяет выявить, где расположены пятна с наиболее бедной и плодородной почвой, а также учесть степень и равномерность засоренности участка. Сильно засоренные участки, особенно с явно выраженными пятнами злостных сорняков (пырей, осота, и др.) могут быть использованы под опыт при условии предварительной подготовки участка.

Взятые при обследовании основные образцы исходных почв надо сохранить для того, чтобы иметь возможность проследить в будущем, как изменяются их свойства под влиянием изучаемых приемов.

3.2.3. Специальные методы изучения и подготовки участка для опыта

Для более детального изучения и подготовки земельного участка к закладке опыта в научных учреждениях используют уравнительные и разведочные посевы.

Уравнительным посевом называют сплошной посев какой-либо культуры, проведенный на всей площади выбранного участка. Уравнительный посев отличается от обычного хозяйственного посева тем, что обработка почвы, удобрение и возделываемые культуры на площади будущего опыта проводятся на более высоком агротехническом уровне. Кроме некоторого выравнивания пестроты и борьбы с сорняками, уравнительные посевы имеют еще одну важную задачу: создание надлежащего фона для будущего опыта (определенная обработка, удобрение, предшественник и т. д.). Поэтому применение тех или иных приемов при возделывании культур в уравнительном посеве должно быть увязано с программой будущего опыта.

Систематическая глазомерная оценка выравниваемости растений на уравнительных посевах – важнейший и решающий фактор

для суждения о пригодности земельного участка под опыт. Она дает возможность выделить участки более однородные по плодородию и забраковать совсем непригодные, например, участки с сильной и непонятной пестротой стеблестоя, с пятнами солончаков и т. д.

Разведочный или рекогносцировочный посев – сплошной посев одной культуры, предшествующий закладке опыта, проводится с целью установления степени однородности почвенного плодородия на площади опыта путем дробного учета урожая малыми делянками. Глазомерная оценка выравненности плодородия, имевшая место в уравнительном посеве, заменяется в этом случае более объективным дробным учетом урожая выращиваемой культуры. Сущность дробного учета заключается в том, что урожай культуры уравнительного посева учитывают отдельными небольшими делянками, что и дает возможность установить выравненность плодородия земельного участка. Результаты дробного учета служат основой для научной разработки методики опыта применительно к данному земельному участку. Они позволяют выделить под опыт более выровненные участки, установить оптимальный размер, расположение и повторность делянок.

3.3. Методика полевого опыта

Под методикой полевого опыта подразумевают совокупность слагающих ее элементов: число вариантов, площадь делянок и их форму, повторность и систему размещения вариантов на территории, метод учета урожая и организацию опыта во времени. Правильное сочетание всех элементов методики обеспечивает максимальную точность и типичность опыта.

При постановке полевого опыта его методика определяется в основном тремя величинами: числом вариантов, заданной точностью и земельным участком, на котором планируется заложить опыт. Чтобы правильно решить вопрос о методике конкретного опыта, необходимо кратко ознакомиться с влиянием каждого элемента методики и их сочетаний на его точность.

3.3.1. Число вариантов опыта

Количество вариантов в схеме любого опыта – заранее заданная величина, определяющаяся его содержанием, целями и задачами. Точность опыта при увеличении числа вариантов сначала медленно, а затем (свыше 10–12) сильно уменьшается. Характерно, что при более крупных делянках увеличение числа вариантов значительно сильнее снижает точность опыта, чем при делянках меньшего размера.

С увеличением числа вариантов увеличивается площадь под опытом и расстояние между сравниваемыми вариантами. При большом числе вариантов труднее уложить опыт или его отдельные повторения в пределах однородной по почвенному плодородию площадке. Все это ведет к увеличению ошибки опыта и понижению его точности. В связи с этим при разработке схемы опыта необходимо осторожно подходить к увеличению числа вариантов.

3.3.2. Площадь делянки

Полевой опыт ставят на делянках, имеющих определенный размер и форму. Делянки служат для размещения на них изучаемых и контрольных вариантов. Размер делянки, в сущности, обеспечивает удобство работы. Во всех странах в практике опытной работы крупные делянки, характерные для начальной стадии развития опытного дела, постепенно вытесняются более мелкими, позволяющими более экономно, быстро и в большем объеме решать вопросы, поставленные для изучения.

Минимальные величины площади делянок для различных модификаций полевого опыта будут меняться в зависимости от культуры, и главным образом, в зависимости от того, какие сельскохозяйственные орудия предполагают использовать при проведении опыта, и возможна ли одновременная обработка всех делянок опыта, или их необходимо обрабатывать отдельно. Предел, ниже которого не должна снижаться площадь делянки, определяется возможностью нормально проводить все агротехнические работы на высоком уровне и с максимальной механизацией.

В полевых опытах наиболее широко используют делянки площадью 25–200 м². Чем больше высевается растений на единицу площади, тем меньше может быть минимальный размер делянки. Так, у льна хорошая точность опыта достигается при размерах делянок 25–50 м², у зерновых 50–100 м², а у пропашных – 100–150 м². На основании многолетней практики отечественных и зарубежных опытных учреждений можно считать вполне установленным, что при прочих равных условиях оптимальная площадь делянок полевого опыта составляет около 100 м². Отклонения в ту или иную сторону определяется в основном техническими условиями и удобством проведения опыта, назначением, задачами, применяемыми орудиями, системой обработки, удобрениями и т. д. Целесообразно проектировать делянки, допускающие проведение всех полевых работ с максимальной механизацией, включая и механизированную уборку урожая.

Таким образом, полевые опыты следует ставить на делянках сравнительно небольшого размера, обеспечивающих нормальное проведение всех агротехнических работ. В опытах на таких делянках гораздо легче достичь большей точности, они удобнее и требуют меньше затрат средств и труда, чем аналогичные опыты на крупных делянках.

3.3.3. Форма делянки

Говоря о форме делянки, обычно имеют в виду отношение длины делянки к ее ширине. Делянки называют квадратными – при отношении длины к ширине, равным 1 (10×10 м или 5×5 м), прямоугольными – при отношении сторон больше 1, но меньше 10 (5×20 м или 2×20 м) и удлиненными – при отношении более 10 (2,5×40 м или 4×60 м).

Данные рекогносцировочных посевов позволили установить, что длинные узкие делянки полнее охватывают пестроту земельного участка и обеспечивают лучшую сравнимость, чем квадратные. Эффект удлинения наиболее сильно проявляется в пределах отношения сторон 1–10 (15). Дальнейшее удлинение делянки оказывает незначительное влияние на повышение точности опыта.

Удлиненная форма делянки оказывается особенно рациональной при больших размерах делянки и при закладке опыта на склоне, когда можно ожидать заметного изменения плодородия почвы вдоль склона. Но чем уже и длиннее делянка, тем больше потребность в защитках, так как удлинение делянки приводит к увеличению ее периметра, а значит, к росту площади под защитными полосами, что совершенно нежелательно. Обычно считается наиболее приемлемой такая форма делянок, которая позволяет использовать под учет более 75 % всей площади и менее 25 % выделять под защитки.

Что касается формы опытного участка, то здесь, безусловно, следует отдать предпочтение форме, близкой к квадрату. В этом случае при любой системе расположения делянок получается минимальное расстояние между вариантами опыта и создается возможность лучше сравнивать их между собой.

3.3.4. Повторность опыта

Данные полевого опыта получаются с теми или иными случайными ошибками, обусловленными невыравненностью почвенного плодородия, индивидуальными различиями растений, случайными повреждениями растений, а также ошибками технического порядка. Согласно теории случайных ошибок, положительные и отрицательные ошибки возникают при проведении опытов одинаково часто, и при большом числе повторных наблюдений могут компенсироваться. Следовательно, чтобы получить возможно точное представление об истинном урожае растений того или иного варианта, необходимо делянку с этим вариантом повторить несколько раз на площади опытного участка. **Повторностью опыта** на территории и называют обычно число одноименных делянок каждого варианта.

Средние урожаи, рассчитанные по результатам нескольких повторных делянок, всегда более устойчивы и точны, чем поделяночные урожаи. Поэтому повторность опыта на территории – необходимый и наиболее действенный прием повышения точности опыта. Повторные делянки можно рассматривать как части одной большой делянки, но размещенные в различных местах

опытного участка. Это дает возможность полнее охватить каждым вариантом схемы пестроту земельного участка и средние арифметические урожаи одноименных делянок дают более правильное представление об урожае со всего опытного участка.

Надежность опыта значительно повышается при увеличении числа повторностей до четырех-шестикратной, а дальнейшее увеличение количества повторностей уже меньше влияет на ошибку опыта. Ни один полевой опыт не следует ставить ниже, чем в трех-четырёхкратной повторности. Двукратная повторность не дает возможность судить, какая из параллельных цифр ближе к истине, так как обе величины в этом случае равноценны.

Результаты всякого полевого эксперимента в значительной степени зависят от метеорологических условий года. Поэтому в большинстве случаев для получения достоверных результатов наряду с повторностью в пространстве (на площади) необходимо повторять полевые опыты во времени. Повторение опытов во времени повышает достоверность выводов и дает возможность получить ценную дополнительную информацию относительно эффективности изучаемых приемов в отдельные годы – засушливые, нормальные, влажные и т. д. Кроме того, многие агротехнические приемы (удобрения, предшественники, углубление пахотного слоя и т. д.) имеют длительное последствие, для учета которого также возникает необходимость наблюдения в повторении опыта во времени.

3.3.5. Методы размещения повторений и вариантов на площади

Существует несколько способов размещения вариантов и повторений (повторностей) на площади. Основная задача любой системы размещения – стремление к наибольшему охвату каждым вариантом опыта всей пестроты опытного участка. Чем лучше выполняется это требование, тем точнее будет опыт и, следовательно, достовернее наши суждения об эффективности изучаемых приемов.

Повторение (повторность), взятое в отдельности, представляет самостоятельный опыт и позволяет производить всевозможные сравнения между вариантами. В условиях полевого опыта разли-

чия в плодородии почвы внутри повторений обычно значительно меньше, чем между повторениями. Повторения на опытном участке могут размещаться в один, два или более ярусов (рядов). Одноярусное расположение повторений наиболее простое и наиболее желательное с точки зрения технического проведения опыта. Оно и применяется чаще всего в несложных опытах с небольшим числом вариантов. Делянки нарезают при этом перпендикулярно к длинной стороне опытного участка. Многоярусное расположение повторений применяется при большом числе вариантов и делянок опыта.

Что касается методов размещения вариантов на делянках внутри повторений, то здесь существует значительное разнообразие, которое, однако, может быть сведено к сравнительно ограниченному числу типичных случаев. Во-первых, варианты внутри повторения могут располагаться по какой-то заранее намеченной исследователем системе, т. е. систематически и, во-вторых – случайно, путем жребия (путем **рендомизации**). Систематическое размещение предусматривает возможно равномерное распределение одноименных вариантов по всей площади опытного участка. При случайном размещении каждый вариант схемы имеет равную вероятность. Равный шанс попасть на любую часть опытного участка, на любую делянку.

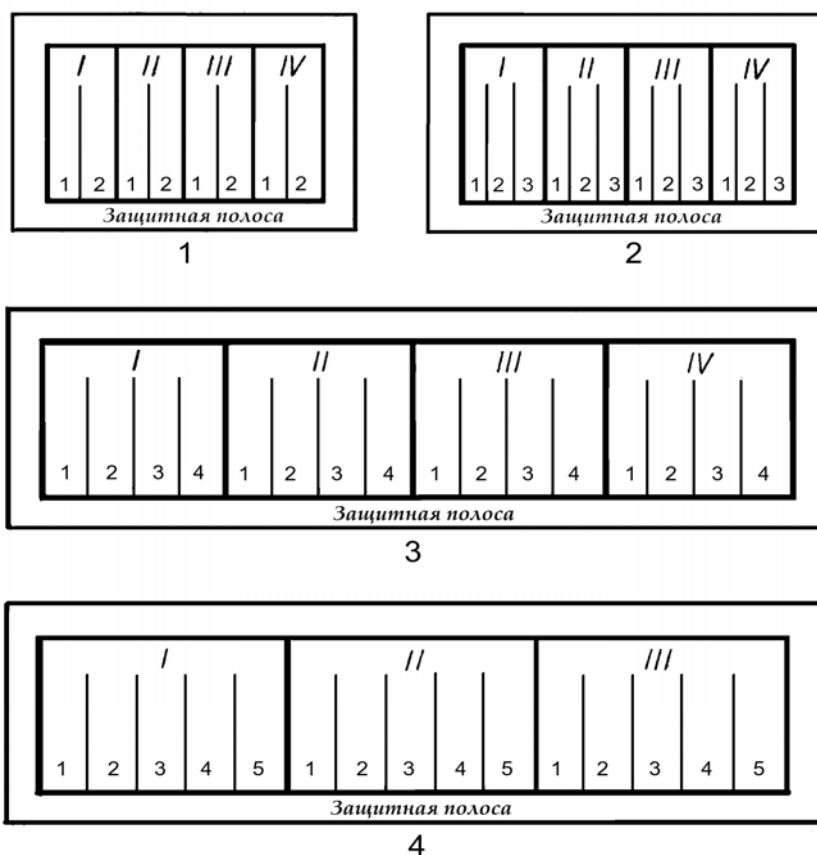


Рис. 1. Одноярусное последовательное расположение вариантов в опыте (Доспехов, Гордиенко, 1975):

- I–II–III и IV – повторения, 1 – два варианта, четыре повторности,
 2 – три варианта, четыре повторности, 3 – четыре варианта,
 четыре повторности, 4 – пять вариантов, три повторности

Систематическое размещение. При одноярусном расположении опыта варианты на делянках всех повторностей размещаются в той последовательности, которая заранее установлена исследователем, исходя в основном из соображений организационно-технического характера: удобства обработки почвы, внесения удобрений, посева, ухода, уборки и т. д. Если, например, в первом повторении для опыта из пяти вариантов намечен порядок 1, 2, 3, 4, 5, то этот же порядок сохраняется во всех остальных повторениях (рис. 1).

При двухъярусном расположении опыта порядок вариантов в повторениях второго яруса изменяется так, чтобы не было территориального совпадения одноименных вариантов, т. е. размещения их рядом как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. Необходимо стремиться к тому, чтобы одноименные

варианты были удалены на возможно большее расстояние друг от друга (рис. 2).

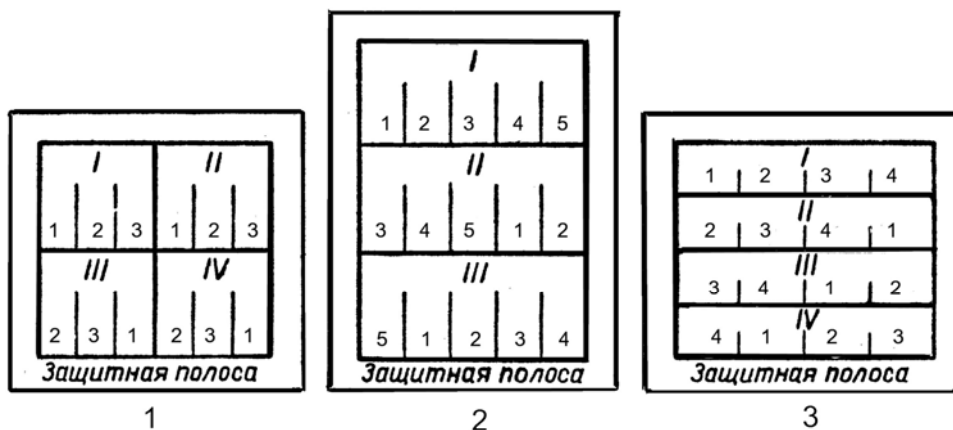


Рис. 2. Двухъярусное, трехъярусное и четырехъярусное расположение вариантов в опыте (Доспехов, Гордиенко, 1975):

I – II – III и IV – повторения, 1 – три варианта, четыре повторности, два яруса,
2 – пять вариантов, три повторности, три яруса, 3 – четыре варианта, четыре повторности, четыре яруса

Случайное или рендомизированное размещение вариантов. Систематическое размещение вариантов по делянкам полевого опыта не свободно от некоторого субъективизма, а иногда от вольного или невольного стремления исследователя получить желаемый результат. Кроме того, принятая единая во всех повторениях система расположения вариантов может перекрещиваться с систематическим изменением плодородия почвы опытного участка, что приводит к искажениям средних урожаев по вариантам, т. е. систематически завысит или занизит их показания в сравнении с контролем. Чтобы этого не произошло, и оценка изучаемых приемов была более объективной и несмещенной, необходимо размещать варианты в разных повторениях опыта случайно.

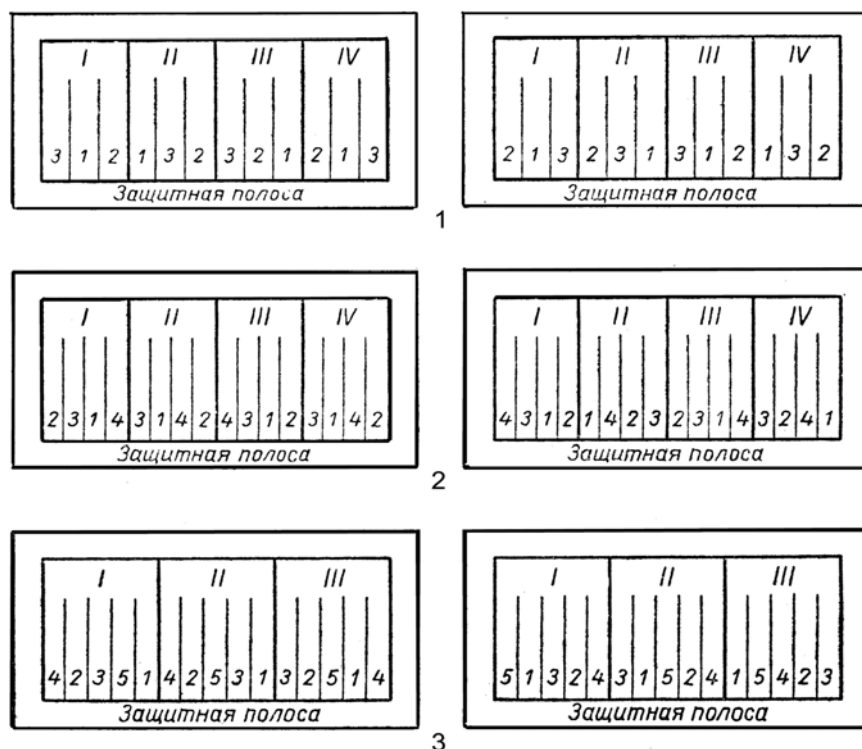


Рис. 3. Случайное расположение вариантов в один ярус

(Доспехов, Гордиенко, 1975):

I – II – III и IV – повторения, 1 – три варианта, четыре повторности, 2 – четыре варианта, четыре повторности, 3 – пять вариантов, три повторности

Порядок вариантов в каждом повторении определяется жребием. Для этого удобно пользоваться следующим простым способом. Варианты нумеруют или обозначают буквами и эти обозначения пишут на карточках. Затем карточки тщательно перетасовывают и наудачу вынимают по одной карточке. Варианты в повторении размещают на делянках в последовательности, определенной жребием. Для каждого повторения проводится своя рендомизация вариантов. На рис. 3 и 4 даны наиболее простые схемы случайного размещения вариантов по делянкам полевого опыта, которыми можно пользоваться в практической работе.

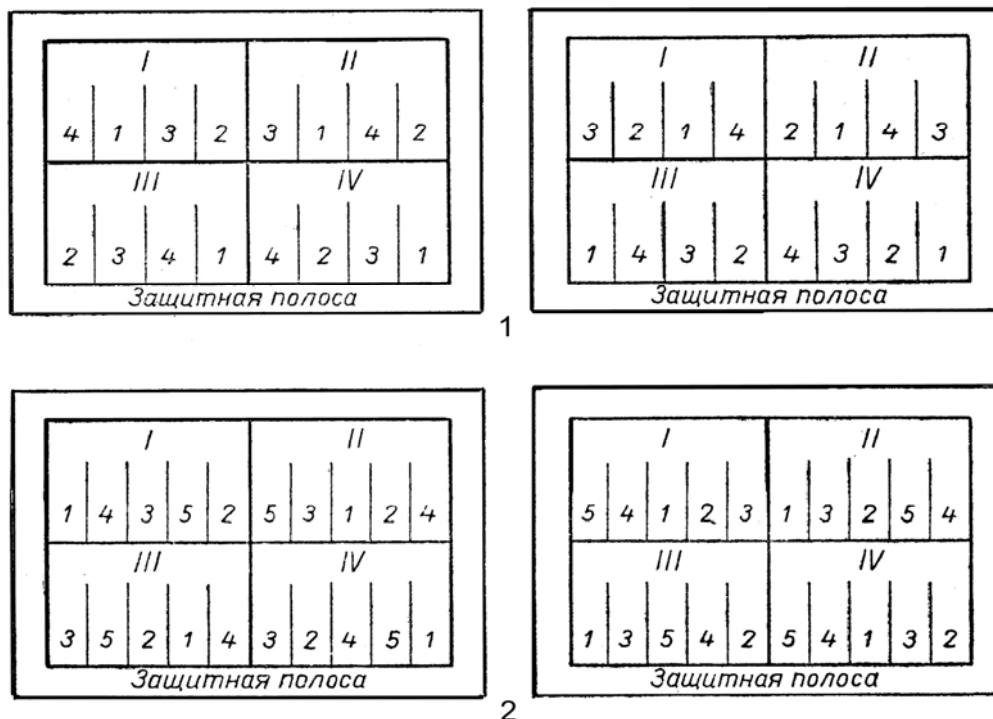


Рис. 4. Случайное расположение вариантов в два яруса (Доспехов, Гордиенко, 1975): I–II–III и IV – повторения, 1 – четыре варианта, четыре повторности, 2 – пять вариантов, четыре повторности

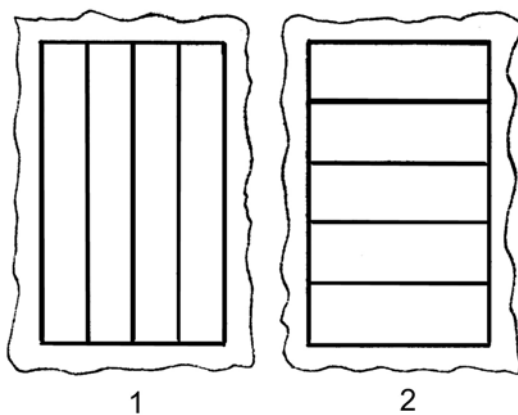


Рис. 5. Расположение делянок опыта (Доспехов, Гордиенко, 1975): 1 – в предшествующем году, 2 – направление новых опытных делянок

Часто в практике опытной работы приходится встречаться со случаями, когда под опытные посевы отводят участки, на которых в прошлом году высевались разные культуры или уже проводился полевой опыт. В подобных случаях делянки текущего года необходимо располагать поперек прошлогодних посевов или делянок, как это показано на рисунке 5.

4. ЗАКЛАДКА И ПРОВЕДЕНИЕ ПОЛЕВОГО ОПЫТА НА ТЕМУ «ЭФФЕКТИВНОСТЬ РИЗОТОРФИНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО НА НОВЫХ ШТАММАХ КЛУБЕНЬКОВЫХ БАКТЕРИЙ ГОРОХА»

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для повышения продуктивности бобовых культур необходимо при их выращивании, наряду с обычными агротехническими приемами, применять предпосевную обработку семян ризоторфином, представляющим собой препарат, насыщенный клубеньковыми бактериями соответствующего вида. Однако эффективность этого препарата находится в зависимости от целого ряда факторов, среди которых чрезвычайно важная роль отводится активности, вирулентности и конкурентной способности тех штаммов клубеньковых бактерий, которые используются для изготовления ризоторфина. Отбор эффективных штаммов осуществляется через географическую сеть опытов с бактериальными препаратами в плане работы которой и планируется проверка эффективности новых штаммов клубеньковых бактерий гороха в составе ризоторфина.

Цель работы: определить эффективность новых штаммов клубеньковых бактерий на серых лесных почвах агробиостанции ТППУ.

Материалы и оборудование: ризоторфин для гороха, полученный из ВНИИСХМ; сельскохозяйственный инвентарь (лопаты, тяпки, грабли); рулетка на 25 м; два длинных шнура; 15 коротких шнуров длиной по 10 м; 4 угловых столбика; 100 колышков длиной 0,5 м; оцинкованные ведра; 10 стеклянных банок емкостью 0,5 л; фосфорно-калийные удобрения в пакетах; семена гороха; дистиллированная вода – 2 л.

ХОД РАБОТЫ

1. Разбивка участка и закладка опыта.

Подготовку почвы к закладке полевого опыта следует начинать с осени, когда осуществляют зяблевую вспашку с боронованием. На небольших участках ее тщательно перекапывают и удаляют корневища сорняков. Весной осуществляют боронование, за которым следует культивация с предварительным внесением фосфорно-калийных удобрений.

После изучения и вспашки участка необходимо нанести намеченное расположение опыта на схематический план, где указать точные размеры всего опыта, делянок, защитных полос и т. д.

Разбивку начинают с выделения общего контура опыта и контуров отдельных повторений. Опыт должен располагаться так, чтобы со всех сторон его были защитные полосы шириной не менее 5 м при больших и не менее 1 м при малых делянках. Выделяют контур опыта следующим образом. По одной из длинных сторон опытного участка проводят, отмечая вешками или по шнуру, прямую линию, например $A_1 D_1$ (рис. 6).

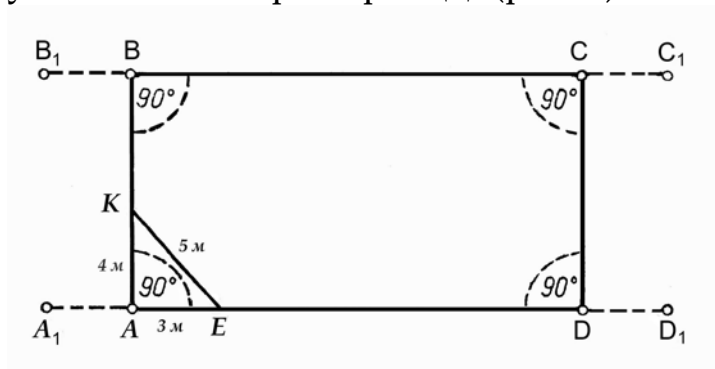


Рис. 6. Выделение контура земельного участка под опыт
(Доспехов, Гордиенко, 1975)

Если поле большое, отступают от границы 5–10 м, а если небольшое – 1 м и устанавливают колышек A , затем точно отмеряют требуемое по плану расстояние и ставят колышек D . В точках A и D восстанавливают перпендикуляры к линии AD и фиксируют границы точками B и C . Это можно сделать с помощью экера, а при его отсутствии – использовать рулетку. При этом необходимо учитывать геометрическое правило – квадрат гипотенузы прямоугольного треугольника равен сумме квадратов его катетов.

Поэтому на стороне **АД** (см рис. 6) от точки **А** откладываем длину одного катета 3 м и ставим колышек в точке **Е**. Затем от точки **А** ставим перпендикуляр и откладываем 4 м, отметив точку **К** колышком, соединяем рулеткой точки **Е** и **К**, расстояние между которыми должно быть равно 5 м ($3^2+4^2=5^2$). Если оно не соответствует этой величине, то следует переставить колышек в точке **К** и добиться соответствия этих величин. Аналогичным образом отбивают прямой угол и в точке **Д** и с помощью вешек и рулетки определяют грани поля до точки **В** и **С**. Если прямые углы были отбиты верно, то линия **АД = ВС** и **АВ = СД**.

Определив границу опытного поля, приступают к разбивке участка на делянки и повторения, обозначая их колышками. При этом между делянками оставляют дорожки (0,5 м) и отбивают защитные полосы.

Внесение удобрений представляет собой один из ответственных моментов полевого исследования как в опытах, в которых удобрение само является изучаемым фактором, так и в тех, в которых оно служит лишь общим фоном для других сравниваемых приемов. Причем, допущенная при внесении удобрений ошибка впоследствии никак не может быть исправлена, а большей частью и не бывает обнаружена.

Конкретно, в данном опыте планируется проверить эффективность ризоторфина на фоне фосфорно-калийных удобрений в дозе по 60 кг действующего вещества на гектар.

Схема опыта:

1. Р₆₀ К₆₀ (фон) – контроль.
2. Фон + ризоторфин (штамм 1).
3. Фон + ризоторфин (штамм 2).
4. Фон + ризоторфин (штамм 3).
5. Фон + ризоторфин (стандартный штамм).

Минеральные удобрения рассчитываются по содержанию в них основного действующего вещества (в данном случае Р₂О₅ и К₂О). Необходимое количество каждого удобрения (в килограммах на делянку) определяется следующей формулой:

$$x = \frac{a \times 100 \times c}{b \times 10000} = \frac{a \times c}{100 \times b}, \quad (2)$$

где x – количество удобрения на делянку, кг; a – доза питательного вещества, кг/га; b – доза питательного вещества в удобрении, %; c – площадь делянки, м².

На технических весах взвешивается нужное количество удобрений, которые помещаются в бумажные пакеты, на которых указывается название удобрения, вариант и повторность. Пакеты раскладываются по соответствующим делянкам.

Техника посева минеральных удобрений должна обеспечивать равномерное распределение их по делянкам. При небольших дозировках (в случае ручного посева), рекомендуется предварительно смешивать удобрения с землей, взятой с той делянки, для которой предназначается удобрение. При этом желательно доведение всех удобрений (с почвой) до одинакового объема, что позволяет сеятелю лучше приспособиться к равномерному высеву на делянку.

При проведении посева на опытном участке необходимо серьезное внимание обратить на своевременность посева, технику посева и качество посевного материала. В нашем опыте используются высококачественные семена районированного сорта Норд.

Показателем качества семян является их всхожесть, энергия прорастания и масса 100 (или 1000) семян (Летние практические занятия по физиологии растений, 1973). Для этой цели берется средняя проба семян. Для ее получения семена берут из разных мест общей кучи семян, высыпают их на лист бумаги, перемешивают и отбирают среднего размера ровные семена.

Для испытания на всхожесть берут четыре пробы по 100 семян в каждой. Отобранные семена проращивают на блюдцах, разложив семена на смоченную чистую марлю, или на крышках от чашек Петри, завернув их в несколько слоев фильтровальной бумаги. Крышки помещают в кристаллизатор с водой, которая, поднимаясь по фильтровальной бумаге, равномерно увлажняет семена. Сверху семена накрывают или марлей, или двумя кружочками фильтровальной бумаги. Кристаллизатор накрывают стеклом и помещают в теплое место или в термостат. Проращивание ведут при температуре +20°C. Каждый день просматривают семена и удаляют пинцетом проросшие, отмечая их

число и занося в рабочую тетрадь. Так поступают в течение 3–5 дней. Считают общее количество проросших семян в каждой повторности и выражают в процентах от исходного числа. Далее результаты по каждой повторности суммируют и выводят среднюю величину.

Для определения энергии прорастания семян выражают в процентах от общего количества число проросших семян за каждый день во всех повторностях и выводят среднее значение. Более дружное прорастание говорит о лучшем качестве семян. Абсолютный вес 100 семян определяется как средняя величина из трех повторностей.

Для опытов берут семена только хорошей всхожести и дружно прорастающие.

Посев производится узкорядным способом и неперотравленными семенами, которые обрабатываются ризоторфином непосредственно перед посевом вручную, полувлажным способом (0,5 л воды на 1 ц семян), таким же количеством воды смачиваются семена и контрольных вариантов. Посев семян на всех делянках должен быть сделан одновременно. Мелкие семена (клевер, люцерна) высевают на глубину 0,5–1 см, а крупные (гороха, сои и т. д.) – на глубину 5–6 см примерно через 4 см.

2. Уход и наблюдения за опытными растениями.

Уход за посевами заключается, прежде всего, в поддержании опытного поля чистым от сорняков, в том числе промежуточных дорожек и защитных полос. Прополка, рыхление должны проводиться в один день, не допускается растягивание этой работы на несколько дней, так как разные варианты опыта могут оказаться в неодинаковых условиях освещения, воздухообеспечения корневых систем, что может исказить результаты опыта.

За посевами в полевом опыте в течение всего вегетационного периода необходимо вести периодические наблюдения (через 7–10 дней) и результаты записывать в дневник. В дневнике по каждому варианту отмечают: высоту растений, их густоту стояния (количество растений на 1 м²), наступление и прохождение фаз роста и развития. Для гороха отмечают: всходы, начало образования боковых побегов, образование соцветий, цветение, созревание

ние. Важно, однако, не столько установление самих сроков наступления тех или иных новых фаз, а установление влияния клубеньковых бактерий на ход роста и развитие гороха в конкретных условиях. Все полученные наблюдения заносятся в таблицу, на основе которых строят графики и диаграммы.

3. Учет урожая. Статистическая обработка полученных результатов и оформление отчета по полевому опыту.

До начала уборки (за 3–5 дней) осматривают опытный участок. Восстанавливают его границу и границы каждой делянки. В случае необходимости делают выключки (если часть растений на делянке пострадала от потравы, вытаптывания, вымочки и пр.), их замеряют и площадь записывают в дневник. Сначала урожай убирают с защитных полос и выключек. С учетной площади урожай на всех делянках опыта убирают в один день. Днем в ясную погоду, когда на растениях нет росы, урожай взвешивают.

На малых делянках урожай определяют методом сплошного учета (т. е. убирают и взвешивают со всей учетной площади), а на больших делянках – или тоже методом сплошного учета или методом частичного учета (т. е. взвешивают урожай с части каждой делянки).

В опытах над зерновыми, зернобобовыми и травами часто применяют также метод учета урожая по пробному снопу. Вес пробного снопа: для зернобобовых 4–5 кг (можно и больше), а для трав – 8 кг. Для большей гарантии и точности желательно с каждой делянки брать два снопа. При этом сначала взвешивают всю растительную массу с учетной площади каждой делянки, а затем сразу же отбирают и взвешивают пробный сноп, который высушивают и снова взвешивают, а затем обмолачивают и определяют вес зерна. После этого нетрудно вычислить урожай и со всей опытной делянки.

В опытах на больших площадях урожай можно учитывать сразу при уборке комбайном.

Результаты учета урожая, разумеется, необходимо записать в дневник.

При уборке урожая, с каждого варианта отбирают средние пробы для определения качества урожая путем его анализа.

Обработанные результаты опыта сводятся в таблицы или выражаются графиками, которые используются для отчета, докладов и научных работ.

Ведение дневника. Все записи, касающиеся проведения опыта, заносятся в дневник, в котором должно быть отмечено следующее:

1. Тема опыта.
2. Цель опыта.
3. Схема опыта.
4. План расположения делянок и их размеры.
5. Почва: тип, когда и как обработана; предшествующая культура. Количество удобрений, способ и время их внесения.
6. Семена: название, сорт, откуда получены. Чистота семян, абсолютная масса 1000 зерен, всхожесть, энергия прорастания семян.
7. Посев: время посева, глубина заделки семян, густота посева.
8. Фенологические наблюдения.
9. Уход за растениями: засоренность, время и способ прополки, появление вредителей и борьба с ними.
10. Погода в течение вегетационного периода: средняя температура за день, количество осадков.
11. Наблюдения за ростом и развитием растений.
12. Уборка урожая, определение конечной для данного опыта спелости. Время уборки.
13. Оформление результатов в виде диаграмм и графиков, наглядно представляющих результаты проведенного опыта.
14. Выводы по результатам исследований.

Статистическая обработка полученных результатов. Измерения являются основной составной частью любого эксперимента. От тщательности измерений последующих вычислений зависят его результаты (Практикум по физиологии растений, 2001).

В любом исследовании после многократных измерений интересующего нас параметра получают n различных результатов – X_1, X_2, \dots, X_n . В качестве оценки действительного значения величины этого параметра X_d пользуются средним арифметическим (\bar{X}) этих результатов:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}. \quad (3)$$

С увеличением числа повторных измерений достоверность \bar{X} возрастает. Оценка действительного значения параметра при ограниченном числе измерений производится в форме двух значений – минимального и максимального. Эти крайние значения, в пределах которых может находиться искомая величина изучаемого параметра, называются **доверительными границами**.

Действительное значение параметра X_d может отличаться от найденного по ограниченному числу измерений среднего арифметического значения \bar{X} не более чем на величину возможной погрешности Δ , определяемой по данным проведенных измерений. Это правило выражается следующими формулами:

$$X_d = \bar{X} \pm \Delta; \quad (4)$$

$$X_d = \text{не более } (\bar{X} + \Delta); \quad (5)$$

$$X_d = \text{не менее } (\bar{X} - \Delta), \quad (6)$$

где X_d – действительное значение измеряемой величины; \bar{X} – среднеарифметическое значение измеряемой величины; $\bar{X} + \Delta$ – максимальная доверительная граница, или возможный максимум; $\bar{X} - \Delta$ – минимальная доверительная граница, или возможный минимум.

$$\Delta = t_c \sigma_{\bar{X}}, \quad (7)$$

где Δ – возможная максимальная абсолютная погрешность при прогнозе действительного значения измеряемой величины; t_c – критерий надежности (коэффициент Стьюдента), определяемый по таблице 1; $\sigma_{\bar{X}}$ – ошибка средней арифметической при числе измерений менее 20, которая рассчитывается по следующей формуле:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}}, \quad (8)$$

где σ – среднее квадратичное отклонение от среднего; n – число измерений.

**Критерии надежности t_c (коэффициента Стьюдента)
для различных доверительных вероятностей α
и различного числа измерений n
(Практикум по физиологии растений, 2001)**

Измерения, n	Значение критерия надежности t_c при доверительной вероятности α			
	$\alpha = 0,90$	$\alpha = 0,95$	$\alpha = 0,99$	$\alpha = 0,999$
2	6,31	12,71	63,70	637,21
3	2,92	4,30	9,92	31,60
4	2,35	3,18	5,84	12,94
5	2,13	2,77	4,60	8,61
6	2,02	2,57	4,03	6,86
7	1,94	2,45	3,71	5,96
8	1,90	2,36	3,50	5,40
9	1,86	2,31	3,36	5,04
10	1,83	2,26	3,25	4,78
12	1,80	2,20	3,11	4,49
14	1,77	2,16	3,01	4,22
16	1,75	2,13	2,95	4,07
18	1,74	2,11	2,90	3,96
20	1,73	2,09	2,86	3,88

Среднее квадратичное отклонение результатов измерений от среднего арифметического рассчитывают по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (9)$$

Точность выполняемых измерений обычно характеризуется величиной $\sigma_{\bar{X}}$ или в относительных единицах ее отношением к средней арифметической:

$$\frac{100\sigma_{\bar{X}}}{\bar{X}}\%. \quad (10)$$

Разброс показателей (однородность) измерения характеризуется величиной дисперсии и показателем вариации (изменчивости) K_v .

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}; \quad (11)$$

$$K_B = \frac{\sigma}{\bar{X}}. \quad (12)$$

Пример. Имеются 10 измерений высоты побега растений. Необходимо определить доверительный интервал для среднего арифметического значения высоты побега при доверительной вероятности, равной 0,95, и коэффициент вариации серии измерений. Для решения поставленной задачи сначала находим среднее арифметическое значение \bar{X} для десяти проведенных измерений:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10} = \frac{65 + 67 + 68 + 69 + 70 + 71 + 72 + 73 + 74 + 75}{10} = 70.$$

Затем находим отклонение каждого измерения от полученного среднего в миллиметрах и квадраты этих отклонений (табл. 2).

Определяем среднее квадратичное отклонение от среднего при числе измерений $n = 10$ по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{25 + 9 + 4 + 1 + 1 + 4 + 9 + 16 + 25}{10-1}} = 3,23,$$

и среднее квадратичное отклонение среднего значения по формуле:

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} = \frac{3,23}{\sqrt{10-1}} = \frac{3,23}{3} = 1,08.$$

Для доверительной вероятности 0,95 по таблице 1 при числе измерений $n = 10$ определяем критерий надежности $t_c = 2,26$. Подставив его в вышеприведенную формулу, получим границы доверительного интервала для среднего арифметического:

$$\Delta = t_c \sigma_{\bar{X}} = 2,26 \cdot 1,08 = \pm 2,44 \text{ мм.}$$

Следовательно, высота h измеренного побега равна:

$$h = \bar{X} \pm \Delta = 70,00 \pm 2,44 \text{ мм.}$$

Относительная погрешность результатов серии из 10 измерений при доверительной вероятности 95 % будет равна:

$$S = \frac{100 \sigma_{\bar{X}} t_c}{\bar{X}} = \frac{2,44}{70,00} 100\% = 3,48\%.$$

Коэффициент вариации будет равен:

$$K_B = \frac{100\sigma_{\bar{X}}}{\bar{X}} = \frac{3,23}{70,00} 100\% = 4,61.$$

Таблица 2

Отклонения от средней величины при измерении побегов
(Практикум по физиологии растений, 2001)

Измерения, n	Отклонения от средней величины, мм	Квадраты отклонений, мм ²
1	65 – 70 = - 5	(65 – 70) ² = 25
2	67 – 70 = - 3	(67 – 70) ² = 9
3	68 – 70 = - 2	(68 – 70) ² = 4
4	69 – 70 = - 1	(69 – 70) ² = 1
5	70 – 70 = 0	(70 – 70) ² = 0
6	71 – 70 = 1	(71 – 70) ² = 1
7	72 – 70 = 2	(72 – 70) ² = 4
8	73 – 70 = 3	(73 – 70) ² = 9
9	74 – 70 = 4	(74 – 70) ² = 16
10	75 – 70 = 5	(75 – 70) ² = 25

Научно-исследовательский отчет включает следующие разделы:

1. Введение (обоснование темы, общая характеристика проблемы, цель и задачи исследований, новизна работ);
2. Литературный обзор (анализ научных и практических достижений в области исследований, выделение неизученных вопросов);
3. Объекты и методы исследований;
4. Результаты исследований (обсуждение полученных результатов в логической последовательности, сопоставление с ранее проведенными опытами из литературных источников);
5. Выводы (заключение) – краткое изложение полученных результатов;
6. Список использованной литературы (перечисление списка литературы в алфавитном порядке со всеми необходимыми библиографическими элементами).

Иллюстрации в виде рисунков, фотографий, таблиц помещают в тексте по мере упоминания. Вспомогательные таблицы помещают в приложение.

Литература

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1985. – С. 3–162.
2. Доспехов, Б. А. Методика опытной работы в школе : пособие для учителей сельск. школы / Б. А. Доспехов, Г. И. Гордиенко. – Изд 2-е., перераб. и доп.– М. : Просвещение, 1975. – С. 6–104.
3. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – Изд. 3-е., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 9–25.
4. Методические указания по организации агрохимических обследований и проведение анализа в овощеводстве защищенного грунта. – М., 1973. – 40 с.
5. Методика полевого опыта / П. Г. Найдин [и др.] ; под ред. П. Г. Найдина. – М. : Сельхозгиз, 1959. – 200 с.
6. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для студ. высш. пед. учеб. заведений / И. В. Плотникова [и др.] ; под ред. В. Б. Иванова. – М. : Академия, 2001. – С. 121–125.
7. Щерба, С. В. Методика полевого опыта с удобрениями // Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами / С. В. Щерба. – М. : Наука, 1967. – С. 3–69.

5. ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД

Вегетационный метод заключается в выращивании растений в искусственной обстановке для определения количества усваиваемых питательных веществ в почве, изучения влияния удобрений, гербицидов и т. д. Вегетационный метод, в отличие от полевого, позволяет более детально выявлять значение отдельных факторов роста и их сочетаний в жизни растений, поддерживать постоянные и оптимальные внешние условия – влажность, освещение, температуру, питательный режим. Вегетационный метод позволяет при хорошей воспроизводимости результатов установить связь между определенными изучаемыми факторами и является первым звеном в изучении эффективности удобрений.

Вегетационные опыты подразделяются на шесть следующих видов: почвенные культуры, водные культуры, изолированные культуры, агрегатные (песчаные, гравийные, керамзитовые) культуры, воздушные и пленочные культуры (Цыгуткин, Прохорова, 2003). Однако в научно-исследовательской практике чаще используются почвенные, водные и песчаные культуры. Любой эксперимент, в том числе и постановка вегетационного опыта, начинается с планирования исследований, основные этапы которого нами рассмотрены при организации полевого опыта (стр. 20).

5.1. Почвенные культуры

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Почвенные культуры – одна из наиболее распространенных модификаций вегетационного опыта, где растения выращивают в сосудах с почвой, что позволяет исследователю выяснить роль растения, почвы и удобрения в их взаимодействии. Почвенные культуры по сравнению с другими модификациями ближе всего к естественным условиям. Данный метод позволяет установить не только доступность растениям тех или иных элементов питания в данной почве, но и изучить способность растений к использованию форм удобрений и влияние изучаемых условий на действие

первых и последних. В почвенных культурах, кроме растения, в изучение включается почва, ее физико-химические и другие свойства, изменение этих свойств и химических показателей под влиянием тех или иных воздействий, самого растения, удобрений, а также влияния растений и почвы на удобрения.

Разработка методики почвенных культур была начата Буссенго в середине 19 века при изучении вопросов плодородия почвы. В России вегетационный метод с почвенными культурами получил широкое распространение. Известные агрохимики, как Д. Н. Прянишников (1953), Б. А. Голубев (1954), К. К. Гедройц (1955), А. В Соколов (1967), З. И Журбицкий (1968) усовершенствовали методику почвенных культур к конкретным задачам. Однако следует помнить, что вегетационный опыт с почвенной культурой не может заменить полевой опыт, так как в вегетационном опыте можно установить эффективность изучаемого приёма, но невозможно предсказать размер прироста урожая в полевых условиях.

Существуют определённые различия в выращивании растений в вегетационном опыте с почвенными культурами, по сравнению с полевым опытом. В отличие от полевого опыта, почва для вегетационных опытов берётся с определённого горизонта, например, с пахотного, или смесь почвы и песка. Вследствие этого растения в вегетационном опыте получают из почвы отличающееся количество питательных веществ от природных условий. Кроме того, в вегетационном опыте с почвенной культурой поддерживается оптимальное сочетание факторов роста – влажность, температура и др.

Цель работы: ознакомиться с техникой и методикой закладки и проведения вегетационных опытов с почвенными культурами.

Материалы и оборудование: почва; сосуды; стеклянные или пластмассовые трубки (дроты); марля; промытая галька; промытый кварцевый песок; технические весы (площадка) или безмен; грохот (сито с отверстием 5–10 мм); семена; совки; пинцеты; удобрения (азотные, фосфорные, калийные); весы лабораторные с погрешностью взвешивания не больше 0,01 г; металлические бюксы; сушильный шкаф; цилиндр для определения влагоемкости почвы.

ХОД РАБОТЫ

1. Подготовка почвы и сосудов.

При использовании почвенных культур условия питания растений приближаются к естественным. Почву следует брать с заведомо известного однородного участка, на котором в предыдущий год произрастала какая-либо одна культура. Брать почву лучше всего весной, когда она уже достаточно просохла и, сжатая в комок, не распадается, но и не пачкает руку. Перед набивкой в сосуды почву следует просеять через сито с отверстием 5–10 мм и освободить от корневых остатков, корней и пожнивных остатков. При этом не следует особенно размельчать почву, разрушать ее структуру.

При постановке опытов с почвенными культурами используют обычно два типа сосудов, различающихся по способу полива – сосуды с отверстиями в дне (Митчерлиха-Кирсанова) и сосуды без отверстий в дне (Вагнера), применяемые для более точных опытов (рис. 7). Сосуды Вагнера поливают только по массе, в них более точно поддерживается водный режим и отсутствует дождевой полив.

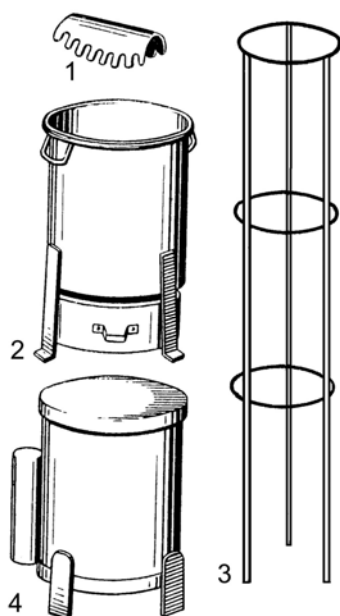


Рис. 7. Вегетационные сосуды Вагнера и Митчерлиха-Кирсанова
(Летние практические занятия по физиологии растений, 1973):

1 – гребенка оцинкованная, 2 – сосуд Митчерлиха-Кирсанова,
3 – проволочный каркас, 4 – сосуд Вагнера

При отсутствии указанных сосудов можно пользоваться обычными оцинкованными ведрами, вмещающими 5–8 кг почвы. Наружную поверхность сосудов рекомендуется покрыть белой масляной краской, уменьшающей нагрев почвы в сосудах в летнее время, а внутреннюю поверхность обычно покрывают асфальтовым лаком. Размер сосудов должен соответствовать опытному растению для его нормального развития в течение всего вегетационного периода. Для большинства растений, кроме картофеля, наиболее пригодными размерами сосудов являются 20×20 и 20×30 см (где первое число – диаметр сосуда, а второе – его высота).

Обычно вегетационные опыты проводят в 4–5 кратной повторности. Однако если в течение вегетационного периода планируется отбор проб грунта или растительного материала, то закладывают дополнительные сосуды и тем самым увеличивают повторность до 7–8-кратной. Перед набивкой сосудов почвой рекомендуется их тщательно промыть водопроводной водой и обработать раствором марганцовокислого калия, высушить на воздухе и пронумеровать.

2. Подготовка и внесение удобрений и набивка сосудов.

Минеральные удобрения вносят в строго определенное количество почвы в сухом виде или в виде растворов. Обычно вносят азотные, фосфорные и калийные удобрения. Если же почва кислая, то следует внести и известь. Количество вносимых солей в разные почвы будет разным в зависимости от ее плодородия, объема сосудов, а также и от биологических особенностей растений, которые будут выращиваться на этой почве. Чаще всего, азотные, фосфорные и калийные удобрения вносятся из расчета 0,15 г действующего вещества на 1 кг почвы. Навеску удобрений (H_y) в граммах на сосуд вычисляют по формуле:

$$H_y = \frac{a \times b \times 100}{v}, \quad (13)$$

где a – количество сухой почвы в сосуде, кг; b – доза действующего вещества, г на 1 кг сухой почвы в сосуде; v – содержание действующего вещества в удобрении, %.

Пример. Доза фосфора для гороха 0,15 г на 1 кг сухой почвы. Сухой почвы в сосуде – 4,8 кг. Фосфорное удобрение – суперфосфат двойной гранулированный с содержанием 46 % фосфора.

$$\text{Тогда } H_v = \frac{4,8 \times 0,15 \times 100}{46} = 1,56 \text{ г двойного суперфосфата необ-}$$

ходимо внести в сосуд.

Доза калия для гороха 0,2 г на 1 кг сухой почвы. Сухой почвы в сосуде – 4,8 кг. Калийное удобрение – калий хлористый с содержанием 63,2 % калия.

$$\text{Тогда } H_v = \frac{4,8 \times 0,2 \times 100}{63,2} = 1,52 \text{ г хлорида калия необходимо}$$

внести в сосуд.

Смешивание питательных солей с почвой производят на подносах (на листе фанеры или в большом тазу) непосредственно перед набивкой сосудов. При этом в каждый сосуд помещают стеклянную или пластиковую трубку для полива и на дно насыпают дренаж – речной гравий, гальку. Для удобства проведения поливов все сосуды необходимо тарировать, т. е. их доводят до строго одинакового веса (1500 г) при помощи дренажа. Дренаж должен покрывать около 2/3 дна сосуда в виде горки. Сверху на дренажный материал помещают кружок марли (или лист бумаги) и сбоку через отверстие, сделанное в марле, вставляют пластиковую (или стеклянную) трубку диаметром 1,2–1,5 см для полива так, чтобы она отстояла от стенок сосуда не менее чем на 2 см. Верхний конец трубки должен быть выше поверхности почвы на 3–4 см.

После этого приступают к набивке их почвой. Если сосуды будут набиты рыхло, то в дальнейшем почва может осесть и оборвать корни растений. При слишком плотной набивке затрудняется доступ кислорода к корням растений. Поэтому рекомендуется производить набивку рукой, так как рука лучше чувствует плотность почвы. Чтобы почва при высыхании не отставала от стенок сосудов, необходимо у краев ее набивать более плотно. Для удобства полива набивают сосуды так, чтобы почва не доходила на 2,5–3,0 см до верхнего края сосуда. До посева сосуды с почвой

накрывают плотной бумагой, во избежание пересыхания верхнего слоя.

3. Посев семян в сосуды и уход за растениями.

Посев семян рекомендуется производить на следующий день после набивки сосудов, поэтому посевной материал необходимо готовить заранее (Савичева, 2006). Для посева берут высококачественные семена со всхожестью близкой к 100 %. Методика определения всхожести рассмотрена выше (стр. 40–41).

Посев, как правило, производят «наклюнувшимися» семенами. Можно производить посев и сухими семенами, но в этом случае рекомендуется норму посева увеличивать на 10–15 семян. Перед посевом поверхность почвы выравнивают, слегка смачивают и на нее кладут маркёр, сделанный из картона или фанеры. Маркёр представляет собой круг по диаметру сосуда с отверстиями для раскладывания семян. После этого карандашом или палочкой соответствующего диаметра делают углубления на 5–6 см (для гороха). Затем маркёр снимают и семена осторожно, корешками вниз раскладывают в углубления и засыпают почвой.

Сосуды с растениями на время опыта устанавливаются в вегетационном домике или под стеклянным навесом, чтобы во время дождя в них не попала лишняя влага.

Когда появятся всходы, сверху почву присыпают промытым кварцевым песком во избежание образования корки и размыва почвы при верхнем поливе сосуда. Песка на каждый сосуд берется одинаковое количество, от 100 до 200 г. Когда растения окрепнут, производят прореживание. При этом оставляют наиболее выровненные растения и удаляют при этом как слабые, так и сильные растения, соблюдая по возможности их равномерное распределение по поверхности сосуда.

Уход за растениями заключается в прополке, рыхлении почвы, подвязке (например, стеблей гороха) и перестановке сосудов для равномерного освещения всех растений и ежедневном поливе.

4. Полив.

Принято считать, что для получения максимального урожая большинства сельскохозяйственных культур, относительная влажность почвы соответствует 60 % от ее полной влагоемкости. Полив

производят ежедневно в ранние утренние или вечерние часы, обычно один раз в день. Воду поочередно подают сверху и через трубку вниз сосуда. В жаркие дни, когда растения имеют уже большую вегетативную массу, следует поливать сосуды два раза в сутки – утром и вечером, один раз – по массе, другой раз – по объему. Когда растения разовьют значительную вегетативную массу, при поливе делают поправку к поливной массе сосудов на прирост растений. Обычно количество поливной воды увеличивают до 70 % от полной влагоемкости. Во время созревания растений, влажность почвы несколько снижают, уменьшая объем воды, и полив производят реже.

Для установления необходимой влажности почвы в сосуде следует определить влажность почвы в момент набивки сосудов, а также ее полную влагоемкость.

Определение влажности почвы. Из средней пробы используемой почвы берут две навески массой 5–10 г в предварительно взвешенные металлические стаканчики (бюксы) с крышками. Определяют массу на лабораторных весах. Взвешенные бюксы открывают и помещают в сушильный шкаф, где образцы выдерживают при температуре 100–105°С в течение 4–6 часов. При истечении срока бюксы вынимают из сушильного шкафа, закрывают крышками, охлаждают до комнатной температуры и определяют массу. Затем повторно высушивают в течение 1 часа, охлаждают и снова определяют массу. Сушить следует до постоянной массы с точностью до 0,01 г. По разности сырой и сухой, высушенной до абсолютно сухого состояния массы навески, определяют количество воды в почве и рассчитывают ее в процентах к сырой массе почвы.

Пример. Масса бюкса – 16,520 г; масса бюкса с навеской почвы – 24,620 г; навеска почвы – 8,100 г; постоянная масса бюкса с почвой после просушивания – 22,705 г; убыль в весе – 1,915 г.

Количество воды в навеске в % к сырой массе почвы

$$\frac{1,915 \times 100}{8,100} = 23,64 \%$$

Определение полной влагоемкости почвы. Для определения полной влагоемкости почвы используют металлические цилиндры (высотой 18–20 см), имеющие сетчатое дно (рис. 8).

Полной влагоемкостью называется максимальное количество воды, которое способна удержать почва, рассчитанное на 100 г ее абсолютной сухой массы.

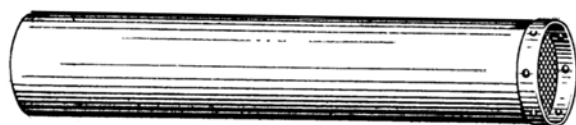


Рис. 8. Цилиндр для определения влагоемкости почвы
(Летние практические занятия по физиологии растений, 1973)

На дно цилиндра помещают смоченный водой кружок фильтровальной бумаги. Подготовленный цилиндр взвешивают с точностью до 0,01 г и затем на 3/4 высоты наполняется почвой. Почву вносят несколькими порциями и уплотняют осторожным постукиванием о стенки цилиндра. После наполнения цилиндр снова взвешивают и затем ставят в сосуд с водой, уровень которой должен быть на 2 см выше дна цилиндра. Через сутки, когда почва в цилиндрах будет доверху смочена водой, цилиндр вынимают из сосуда, оставляют на столе на несколько минут, затем обтирают фильтровальной бумагой и взвешивают. После этого цилиндр снова ставят в кристаллизатор с водой на 2 часа и проводят повторное взвешивание. Если масса не изменилась, то определяют количество воды поглощенной почвой.

Пример. Масса цилиндра – 160,5 г; масса цилиндра с почвой – 386,7 г; навеска почвы – 226,2 г; масса цилиндра с почвой и поглощенной водой – 432,8 г; количество поглощенной воды – 46,1 г.

То же в процентах от взятой навески почвы:

$$\frac{46,1 \times 100}{226,2} = 20,38 \%$$

Если влажность почвы, которой наполнили цилиндр, равнялась 23,64 %, то общее количество воды, которое почва способна удержать в процентах, будет:

$$23,64 + 20,38 = 44,02 \%$$

Полную влагоемкость почвы рассчитывают в процентах на абсолютно сухую массу почвы. При влажности 23,64 % абсолютно сухая масса 100 г почвы будет:

$$100 - 23,64 = 76,36 \text{ г.}$$

Отсюда полная влагоемкость при расчете на 100 г абсолютно сухой почвы будет:

$$\frac{44,0,2 \times 100}{76,36} = 57,64 \text{ г (или \%),}$$

а 60 % от полной влагоемкости рассчитываем из пропорции:

$$\begin{aligned} 57,64 - 100 \% & \quad X = 34,58 \text{ г (\%)} \\ X - 60 \% & \end{aligned}$$

Следовательно, для поддержания влажности почвы в сосуде, равной 60 % от полной влагоемкости почвы, необходимо, чтобы на каждые 100 г абсолютно сухой почвы в сосуде приходилось 34,58 г воды. Зная влажность и влагоемкость почвы, определяем поливную массу сосуда, т. е. ту массу, которую должен иметь сосуд с почвой определенной влажности (60 %) от полной влагоемкости.

Для расчета поливной массы сосуда определяем количество абсолютно сухой массы в нем, зная влажность почвы при набивке.

Пример. Масса почвы в сосуде при набивке – 8000 г.

Количество воды в почве при влажности 23,64 %:

$$\frac{8000 \times 23,64}{100} = 1891 \text{ г.}$$

Количество абсолютно сухой почвы в сосуде:

$$8000 - 1891 = 6109 \text{ г.}$$

Зная, что при влажности почвы, равной 60 % от полной влагоемкости на каждые 100 г абсолютно сухой почвы должно приходиться 34,58 г воды, рассчитаем количество воды на абсолютно сухой вес почвы в сосуде:

$$\frac{34,58 \times 6109}{100} = 2112 \text{ г.}$$

Теперь рассчитаем поливную массу сосуда, зная, что масса сосуда с дренажем равна 1500 г.

Масса абсолютно сухой почвы в сосуде – 6109 г.

Количество воды в почве при влажности 60 % – 2112 г.

Отсюда поливная масса сосуда: $1500 \text{ г} + 6109 \text{ г} + 2112 \text{ г} = 9721 \text{ г}$.

При поливе сосудов по массе на одну чашку весов ставят сосуд с растениями, а на другую – разновесы в количестве, соответствующем поливной массе (9721 г) и приливают воду в сосуд до уравновешивания.

5. Наблюдения за растениями и учет урожая.

Программой исследований должно предусматриваться изучение в опытах показателей, позволяющих дать объективную оценку качества изучаемых удобрений, их влияния на плодородие почвы, величину и качество урожая.

В течение всего времени вегетации необходимо вести фенологические и морфо-биометрические наблюдения, результаты которых заносят в журнал вегетационного опыта.

Фенологические наблюдения. Для каждого сосуда отмечается дата наступления фаз роста и развития в зависимости от выращиваемой культуры (прил. 7). Процент растений, вступивших в ту или иную фазу, устанавливается подсчетом их глазомерно в зависимости от культуры. Так, у злаков (рис. 9) наблюдаются следующие фазы развития:

1. Всходы: а) начало появления всходов; б) полное появление всходов (когда на большей части участка (более 50 %) показали зеленые всходы).



Рис. 9. Фазы развития пшеницы

(Летние практические занятия по физиологии растений, 1973):

1 – всходы, 2 – третий лист, 3 – кущение, 4 – выход в трубку, 5 – колошение, 6 – цветение, 7 – молочная спелость. 8 – восковая спелость

2. Развитие третьего листа: а) отмечается начало фазы, когда у отдельных растений из пазухи второго листа появляется верхушка третьего; б) полное наступление фазы, когда она обозначится на большей части растений.

3. Кущение: а) начало – появление боковых побегов у отдельных растений; б) полное – когда кущение появилось у большинства растений.

4. Выход в трубку: появление первичного узла на главном побеге, прощупываемого пальцами.

5. Колошение: выход колоса из влагалища верхнего листа у большинства растений.

6. Цветение: а) начало – когда у отдельных растений раскрываются цветки и появляются пыльники; б) полное – более чем у 50 %.

7. Молочная спелость: у зерен в средней части колоса, достигших нормального размера, при выдавливании вытекает густая белая молочная жидкость.

8. Желтая, или восковая, спелость: зерно в средней части колоса желтого цвета, мнется, легко разрезается ногтем.

9. Полная спелость: зерно твердое, начинает высыпаться и разламываться.

На других растениях, например у фасоли, наблюдают следующие фазы развития: всходы; образование листьев; начало цветения; конец цветения; образование плодов; созревание семян.

Морфо-биометрические наблюдения. К морфо-биометрическим показателям относятся: высота растений, число и размеры листьев, общая биомасса и масса отдельных органов, структура урожая (Церлинг, 1990).

Высота растений характеризует общее состояние растений, в том числе размер биомассы.

Число листьев – существенный признак состояния растения в период его развития. Изменение этого показателя служит сигналом для поиска причин отклонения от нормы.

Площадь листьев. Некоторые авторы считают, что размер листьев является диагностическим показателем питания растений. Существует несколько методов определения площади листьев (Методика физиологических исследований в овощеводстве и бахчеводстве, 1970), но мы остановимся на весовом методе, который заключается в определении площади листьев по отношению веса бумажных контуров листьев к весу бумажного контура определенной площади.

Листья с растений отобранной средней пробы обводят на бумаге, однородной по толщине, отмеченные контуры вырезают и взвешивают на аналитических весах. Затем вырезают из бумаги три-четыре контура определенной площади, например, 1 дм² и определяют средний вес одного контура. Для расчета площади листьев (S), дм² пользуются формулой:

$$S = \frac{A \times S_1}{a}, \quad (14)$$

где S – площадь всех листьев, дм^2 , S_1 – площадь известного контура, дм^2 ; A – вес бумажных контуров всех листьев, г; a – вес бумажного контура 1 дм^2 , г.

Накопление биомассы учитывают взвешиванием сырой и сухой надземной массы растений. Определяют процентное содержание сухой массы относительно сырой. Рекомендуется в каждую фазу развития растения определять не только общую массу, но и массу того органа, ради которого выращивают культуру. Это позволяет прогнозировать урожай.

Структура урожая составляет заключительный этап морфо-биометрической диагностики. В вегетационном опыте определяют только один компонент – массу урожая одного растения.

Уборка и учет урожая. За 3–4 дня до уборки урожая прекращают полив сосудов. В зависимости от целей и задач опыта растения убирают в разные периоды вегетации, но чаще – в фазу полной спелости. Зерновые, бобовые растения и травы срезают ножницами на высоте 1–2 см от корневой шейки. Подсчитывают и записывают в журнал число растений, стеблей, колосков, высоту растений и длину колосьев. Укладывают растения в пакеты с указанием номера сосуда, высушивают до постоянной массы при температуре 60°C , после чего взвешивают, обмолачивают, взвешивают зерно и сохраняют для анализов, если это предусмотрено программой исследований. Все результаты записываются в журнал.

При необходимости учитывают массу корней, отмывая их от почвы, подсчитывают число и вес клубеньков на корнях бобовых растений.

6. Химический анализ растений

К числу необходимых анализов растений относится определение влажности, валового содержания азота, фосфора, калия, нитратного азота.

Определение первоначальной влажности.

Материалы и оборудование: сушильный шкаф, обеспечивающий устойчивую температуру нагрева $110\text{--}120^\circ\text{C}$; весы лаборатор-

ные с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; фарфоровые чашки; стеклянные бюксы.

Ход анализа. Пронумерованные фарфоровые чашки высушивают при температуре 100°C в течение 30–60 мин, охлаждают и взвешивают на лабораторных весах с точностью до 0,01 г. Затем в них отвешивают 50–100 г измельченного растительного материала (сено, траву режут на кусочки 1–2 см) и ставят в сушильный шкаф, нагретый до 110–120°C. Во время загрузки растительного материала температура в шкафу понижается до 80–90°C. При этой температуре пробу сушат не менее 5 часов. Затем чашки вынимают и ставят на лабораторный стол на 3–4 часа, после чего их взвешивают и вновь сушат в сушильном шкафу при той же температуре. Через 1 час чашки вынимают, охлаждают и взвешивают. Так повторяют до тех пор, пока разница во взвешиваниях не будет превышать 0,5 – 1г.

Влажность (W) в % определяют по формуле:

$$W = \frac{(H - a) \times 100}{H}, \quad (15)$$

где H – масса вещества, взятая для анализа, г; a – масса вещества после сушки, г.

Коэффициент влажности (K_w) определяют по формуле:

$$K_w = \frac{100}{100 - W}, \quad (16)$$

Определение гигроскопической влаги.

Материалы и оборудование: сушильный шкаф, обеспечивающий устойчивую температуру нагрева 110–120°C; весы аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,2 мг; стеклянные бюксы; эксикатор.

Ход анализа. В высушенный до постоянного веса стеклянный бюкс отвешивают на аналитических весах 2–5 г воздушно-сухого растительного материала. Бюксы с открытыми крышками помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 105°C и сушат при этой температуре в течение 4 часов. Вынутые из шкафа бюксы закрывают крышками, ставят на керамическую плитку и охлаждают не менее 5 минут, а затем охлаждают в эксикаторе до комнатной температуры и взвешивают. После взвешивания

вания навески проводят контрольное подсушивание в течение 1–2 часов. Навески растений подсушивают до тех пор, пока не установится постоянный вес. Содержание гигроскопической влаги (W) в % определяют по формуле:

$$W = \frac{a \times 100}{z}, \quad (17)$$

где a – потеря в весе, г; z – вес сухого (высушенного при 105°C) растительного материала, г.

Определение валового содержания азота, фосфора и калия в одной растительной навеске по методу К. Е. Гинзбург и Г. М. Щегловой (1960) (Методические указания по организации агрохимических обследований ..., 1973).

Материалы и оборудование: весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; весы аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,2 мг; электроплиты; отгонная установка; колбы Кьельдаля емкостью 100, 500 мл; колбы мерные емкостью 100 мл; колбы круглые плоскодонные емкостью 100 мл; колбы конические емкостью 100 мл; воронки диаметром 3 см; стаканы химические емкостью 400 мл; пипетки 10, 20, 25, 50 мл; цилиндр 10, 50 мл; H₂SO₄ конц; HClO₄ конц.

Ход анализа. Навеску 0,2 г размолотого растительного материала помещают в колбу Кьельдаля на 50–100 мл, заливают 5,5 мл смеси H₂SO₄ и HClO₄. Образец, залитый смесью кислот, оставляют на 30–60 мин или на ночь с тем, чтобы растительная масса смочилась и обуглилась. Во избежание потерь азота колбы вначале слабо подогревают 5–7 мин (до появления белых паров), затем снимают, осторожно помешивают и оставляют до исчезновения крупных обуглившихся комочков и образования темно-бурой однородной массы. После этого колбы более сильно нагревают, и смесь кипятят до полного ее обесцвечивания, затем продолжают кипячение еще в течение 5–7 мин. В процессе сжигания необходимо часто перемешивать смесь и постоянно наблюдать за процессом сжигания. Сжигание одного растительного образца продолжается обычно 15–20 мин. Если в течение этого времени сжигание не закончится, следует добавить 1–2 капли хлорной кислоты и продолжить кипячение смеси до полного ее обесцвечива-

ния. После окончания озоления смесь охлаждают, переносят в мерные колбы на 100 мл и доводят дистиллированной водой до метки и перемешивают. Затем берут 25 мл полученного раствора и помещают в мерные колбы на 100 мл, доводят водой до метки и перемешивают. Этот раствор Б служит для определения фосфора и калия.

Определение валового азота.

Материалы и оборудование: весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; весы аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,2 мг; электроплиты; отгонная установка; колбы Кьельдаля емкостью 100, 500 мл; колбы мерные емкостью 100 мл; колбы круглые плоскодонные емкостью 100 мл; колбы конические емкостью 100 мл; воронки диаметром 3 см; стаканы химические емкостью 400 мл; пипетки 10, 20, 25, 50 мл; цилиндр 10, 50 мл; бюретки; сплав Декарда; 40 % раствор NaOH; смешанный реактив Гроака; метиловый оранжевый; 2 % раствор H_3BO_3 ; 0,02 н раствор буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$); 0,02 н раствор H_2SO_4 .

Приготовление реактивов:

1. 40 % раствор NaOH. К 40 г NaOH прибавляют 60 мл дистиллированной воды).

2. Смешанный реактив Гроака. Один объем 0,4 % спиртового раствора метилового красного смешивают с одним объемом 0,2 % спиртового раствора метиленового голубого. Готовый раствор хранят в темной склянке.

3. Метиловый оранжевый. 0,1 г метилового оранжевого растворяют в 100 мл дистиллированной воды.

4. 2 % раствор H_3BO_3 . 2 г H_3BO_3 растворяют в 100 мл дистиллированной воды.

5. 0,02 н раствор буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$). 0,7640 г $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ растворяют в 200 мл дистиллированной воды. Титр раствора буры равен 0,003804 г, нормальность 0,01992).

6. 0,02 н раствор H_2SO_4 (0,56 мл концентрированной H_2SO_4 растворяют в 1 л дистиллированной воды или растворяют 0,2 н раствор H_2SO_4 в 10 раз. Нормальность 0,02 н раствора H_2SO_4 устанавливают по буре ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$). В конические колбы на 100 мл помещают 20 мл раствора буры, добавляют 1–2 капли метилового оран-

жевого и титруют 0,02 н раствором H_2SO_4 до перехода окраски из желтой в слабо-розовую. Нормальность раствора H_2SO_4 (N_1) вычисляют по формуле:

$$N_1 = \frac{N_2 \times V_2}{V_1}, \quad (18)$$

где V_1 – объем 0,02 н раствора H_2SO_4 , пошедшей на титрование, мл; V_2 – объем буры, мл; N_2 – нормальность раствора буры.

Ход анализа. 50 мл полученного раствора помещают в колбу Кьельдаля, добавляя 0,5–1,0 г сплава Дебарда, 10–15 мл 40 % едкой щелочи и сразу присоединяют к отгонному аппарату. В приемник (низкие стаканы емкостью 400 мл) отгонного аппарата приливают 10 мл 2 % раствора H_3BO_3 и несколько капель индикатора Гроака. Включают электроплиты, пускают холодную воду и отгоняют приблизительно 2/3 содержимого отгонной колбы (т. е. около 20–30 мл).

Содержимое титруют 0,02 н H_2SO_4 до перехода зеленой окраски через сероватую до фиолетово-красной. Массу валового азота (X) в мг/100г сухого вещества вычисляют по формуле:

$$X = \frac{(V - V_1) \times N \times 14 \times K_w \times 100}{m}, \quad (19)$$

где V – количество кислоты, пошедшей на титрование, мл; V_1 – количество кислоты, пошедшей на титрование холостой пробы, мл; N – нормальность кислоты, используемой для титрования; 14 мг-экв. азота; K_w – коэффициент влажности; m – масса навески, г.

Определение валового фосфора.

Материалы и оборудование: весы лабораторные с погрешностью взвешивания не более 0,01 г; весы аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,2 мг; фотоэлектроколориметр; электроплитка; колбы мерные емкостью на 50, 100, 1000 мл; стаканы химические 100, 200 мл; пипетки 5, 10 мл; цилиндр 10, 50 мл; бюретки; H_2SO_4 конц; HCl конц; β -динитрофенол; 10 % раствор NH_4OH ; 10 % раствор HCl ; 5 н раствор H_2SO_4 ; реактив 1; реактив 2; 0,2 н раствор HCl .

Приготовление реактивов: 1. 10 % раствор NH_4OH . 42,2 мл NH_4OH растворяют в 100 мл дистиллированной воды.

2. 10 % раствор HCl. 23,6 мл HCl конц. растворяют в 100 мл дистиллированной воды.

3. 5 н раствор H₂SO₄. 140 мл H₂SO₄ конц. вливают в мерную колбу на 1 л, содержащую 200 мл дистиллированной воды, охлаждают до комнатной температуры и доводят объем до метки.

4. Реактив 1. Навеску массой 6 г молибденовокислого аммония растворяют в 200 мл дистиллированной воды. Навеску массой 0,1454 г сурьмяновиннокислого калия растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Оба раствора готовят при слабом нагревании. Охлажденные растворы добавляют к 500 мл 5 н раствора H₂SO₄. Раствор перемешивают и доводят объем дистиллированной водой до 1 л. Реактив готовят заранее и хранят в темной склянке в холодильнике при температуре 5–10°C.

5. Реактив 2. Навеску массой 0,8870 г аскорбиновой кислоты растворяют в 169 мл реактива 1 и доводят объем до 1 л. Реактив готовят в день определения.

6. Основной образцовый раствор А калия фосфорнокислого однозамещенного (KH₂PO₄) концентрации 0,1 мг/мл. Навеску массой 0,1917 г KH₂PO₄ растворяют в 500–600 мл дистиллированной воды с несколькими каплями 5 н раствора H₂SO₄ и в мерной колбе вместимостью 1 л доводят объем до метки. В 1 мл раствора содержится 0,1 мг P₂O₅.

Ход анализа. 5–10 мл раствора Б переносят в мерные колбы на 100 мл, разбавляют водой до 25–30 мл, добавляют 2 капли β-динитрофенола и титруют 10 % раствором NH₄OH до появления желтой окраски, которую в дальнейшем уничтожают добавлением 1–2 капель 10 % HCl или H₂SO₄. После этого в растворе определяют фосфор колориметрически, описанным ниже методом. Пипеткой отбирают 2,5 мл исследуемого раствора, помещают в мерную колбу на 50 мл, приливают 47,5 мл реактива 2. Через 30 мин определяют оптическую плотность на фотоэлектроколориметре с красным светофильтром при длине волны 650 нм в кюветах с толщиной слоя 10 мм, используя в качестве сравнения кювету с контрольным раствором. По градуировочному графику находят концентрацию фосфора в анализируемой пробе, соответствующую отсчету на фотоэлектроколориметре.

В случае высокой концентрации фосфора в фильтрате необходимо повторить его определение, предварительно разбавив испытуемый фильтрат в 5–10 раз дистиллированной водой. При проведении расчетов следует ввести соответствующую поправку на разбавление.

Массу фосфора в пересчете на P_2O_5 мг/100г сухого вещества рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{m \times V \times K \times K_w \times 100}{V_1 \times m_1}, \quad (20)$$

где m – масса фосфора, соответствующая на градуировочном графике, мг; V – общий объем фильтрата, мл; V_1 – объем фильтрата, взятый для определения, мл; K – поправка на разбавление; K_w – коэффициент влажности; m_1 – масса навески, г.

Приготовление шкалы образцовых растворов и построение градуировочного графика. Из основного раствора А готовят серию эталонных растворов. Для этого в мерные колбы вместимостью 50 мл наливают из бюретки или пипетки количество раствора А, указанное в таблице 3 и объем доводят до метки 0,2 н раствором HCl.

В день проведения анализа из рабочих растворов берут по 2,5 мл раствора Б (методику получения см на стр. 63–64) из каждой колбы, переносят в мерные колбы вместимостью 50 мл, добавляют 47,5 мл реактива 2 и хорошо перемешивают. Через 30 мин определяют оптическую плотность на фотоэлектроколориметре с красным светофильтром при длине волны 650 нм в кюветах с толщиной слоя 10 мм, используя в качестве сравнения кювету с контрольным раствором. На основании показаний прибора строят градуировочный график согласно таблице 3, откладывая по оси абсцисс массу P_2O_5 в мг, а по оси ординат – соответствующие ей значения оптической плотности.

Данные для построения калибровочного графика

(Методические указания по организации агрохимических обследований..., 1973)

Номер колбы эталонного раствора	Объем раствора А, мл	Масса P_2O_5 в 1 мл рабочего раствора, мг	Объем рабочего раствора, мл	Масса P_2O_5 в 50 мл рабочего раствора, мг
1	1,0	0,002	2,5	0,0050
2	2,5	0,005	2,5	0,0125
3	5,0	0,010	2,5	0,0250
4	10,0	0,020	2,5	0,0500
5	15,0	0,030	2,5	0,0750
6	20,0	0,040	2,5	0,1000
7	30,0	0,060	2,5	0,1500
8	40,0	0,080	2,5	0,2000

Определение валового калия.

Материалы и оборудование: весы аналитические с погрешностью взвешивания не более 0,2 мг; пламенный анализатор жидкости; пенициллиновые флакончики; колбы мерные емкостью 100 мл; мерные колбы вместимостью 100, 1000 мл; бюретки; пипетки на 10 мл; основной образцовый раствор А КСl концентрации 1мг/мл. (Навеску массой 1,5828 г КСl растворяют в дистиллированной воде, переносят в мерную колбу вместимостью 1 л и доводят объем раствора до метки. В 1 мл раствора содержится 1 мг K_2O).

Ход анализа. Содержание калия определяют на пламенном фотометре. Раствор Б (методика получения см стр. 63–64) помещают в пенициллиновые флакончики и вводят в пламя горелки пламенного фотометра, отмечают показания прибора. Если содержание калия в анализируемой пробе выходит за пределы градуированного графика, определение повторяют, предварительно разбавив фильтрат в 5–10 раз дистиллированной водой. При смене растворов распыляющую систему промывают водой. Массу калия (X) в пересчете на K_2O в мг/100 г сухого вещества рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{m \times V \times K \times K_w \times 100}{m_1 \times 1000}, \quad (21)$$

где m – масса K_2O , соответствующая на градуировочном графике, мг; V – общий объем фильтрата, мл; K – поправка на разбавление фильтрата; K_w – коэффициент влажности; m_1 – масса навески, г.

Приготовление шкалы образцовых растворов и построение градуировочного графика. В мерные колбы вместимостью 100 мл берут из бюретки или пипетки количество раствора А: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10 мл, соответствующее концентрации K_2O , мг/л: 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100. Объем доводят до метки дистиллированной водой. В порядке возрастания концентрации раствора вводят в пламя горелки пламенного фотометра. По каждому раствору записывают показания прибора. По результатам измерения строят градуировочный график, откладывая по оси абсцисс значение концентрации K_2O в мг/л, соответствующее рабочим растворам Б, а по оси ординат – показания прибора.

После выполнения программы исследований по вегетационному опыту, полученные результаты подвергаются статистической обработке, оформляется отчет по тому же плану, как и в полевом опыте (стр. 43–47).

Вопросы для закрепления:

1. Чем отличается вегетационный опыт от полевого?
2. На какие виды подразделяются вегетационные опыты?
3. Назовите преимущества и недостатки вегетационных опытов в почвенной культуре по сравнению с полевым опытом.
4. Какие условия необходимо выполнять при отборе почвы для вегетационного опыта?
5. Перечислите виды сосудов, используемые в вегетационных опытах.
6. Из каких слагаемых состоит поливная масса при постановке опытов в сосудах Вагнера?
7. Как определяется первоначальная и гигроскопическая влага?

Литература

1. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студентов пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 26–33.
2. Методические указания по организации агрохимических обследований и проведение анализа в овощеводстве защищенного грунта. – М. : ЦИНАО, 1973. – 40 с.
3. Савичева, О. Г. Комплексная переработка торфа. Вегетационный опыт : задачи, методика, обработка результатов / О. Г. Савичева. – Томск : Изд-во ТГПУ, 2006. – С. 40–58.
4. Соколов, А. В. Вегетационный метод // Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами / А. В. Соколов. – М : Наука, 1967. – С. 104–124.
5. Цыгуткин, А. С. Классификация и терминология вегетационного опыта / А. С. Цыгуткин, И. И. Прохорова // Агрохимический вестник. – 2003. – № 1. – С. 30–32.

5.2. Выращивание растений в водной культуре на полной питательной смеси Кнопа и с исключением элементов

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Метод водных культур широко используется для изучения роли отдельных минеральных элементов в растениях, оценки физиологических и биохимических изменений, вызываемых формой использования, избытком или недостатком отдельных элементов в разные периоды роста и развития растений. Используется этот метод для изучения синергизма и антагонизма в отношениях между различными элементами питания и другими факторами роста растений; при исследовании первичных процессов поглощения элементов на границе корневая система – питательный раствор, а также путей и способов их передвижения в растениях.

Методика водных культур была разработана в 60-е годы XIX века немецкими учеными Ю. Саксом и И. Кнопом.

Ими предложены первые питательные смеси для выращивания растений без почвы, которые применяются и в настоящее время. В России большое внимание водным культурам уделяли К. А. Тимирязев и Д. Н. Прянишников.

Цель работы: 1) познакомиться с методикой постановки опытов в водной культуре; 2) определить физиологическую роль отдельных макроэлементов путем исключения их из питательной смеси.

Материалы и оборудование: сосуды емкостью на 1 л.; мерные пипетки на 10 мл; резиновые груши; бутылки из темного стекла для растворов; технические весы; аналитические весы; разновесы; конические колбы на 250 мл; ножи; ножницы; черная и белая бумага; марля; вата; нитки; пенопласт; пробочные сверла; стеклянные или деревянные палочки; пластмассовое ведро с водой для отмывания корней рассады от почвы; дистиллированная вода; химически чистые реактивы: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, KCl , NaH_2PO_4 , NaCl , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, FeCl_3 , борная кислота; универсальный индикатор; рассада томатов или другие растения.

ХОД РАБОТЫ

Закладке опыта предшествует выполнение работ подготовительного этапа: расчеты и приготовление растворов, в соответствии со схемой опыта; выращивание рассады и монтировка сосудов.

Опыт в водной культуре планируется провести по следующей схеме:

1. Полная питательная смесь Кнопа (контроль).
2. Смесь Кнопа с исключением калия.
3. Смесь Кнопа с исключением фосфора.
2. Смесь Кнопа с исключением азота.

1. Расчеты и приготовление растворов.

Полная питательная смесь Кнопа в г на 1 л дистиллированной воды:

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – 1 г

KH_2PO_4 – 0,25 г

$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,25 г

KCl – 0,125 г

FeCl_3 – 5 капель 1 % раствора

Смесь Кнопа с исключением калия.

Соль KH_2PO_4 заменяется солью $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Соль KCl заменяется солью NaCl . Вычисляется, сколько необходимо взять $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, чтобы количество фосфора было такое же, как в 0,25 г KH_2PO_4 . Расчет ведут следующим образом:

1) Количество фосфора в 0,25 г KH_2PO_4 вычисляется по пропорции:

$$\begin{array}{ll} \text{KH}_2\text{PO}_4 - \text{P} & 136,2 \text{ г/моль} - 31,04 \text{ г/моль} \\ 0,25 - X & 0,25 \text{ г} - X \text{ г} \\ X = \frac{0,25 \times 31,04}{136,2} = 0,057 \text{ г.} \end{array}$$

2) Определяется, какое количество $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ необходимо внести в питательную смесь, чтобы сохранить количество фосфора, эквивалентное его содержанию в 0,25 г KH_2PO_4 .

$$\begin{array}{ll} \text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} - \text{P} & 138,0 \text{ г/моль} - 31,04 \text{ г/моль} \\ X - 0,057 & X \text{ г} - 0,057 \text{ г} \\ X = \frac{138,0 \times 0,057}{31,04} = 0,25 \text{ г.} \end{array}$$

Следовательно, вместо 0,25 г KH_2PO_4 , исключенного по калию из питательной смеси, в раствор вносят эквивалентное по содержанию фосфора количество $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, равное 0,25 г.

Затем вычисляется количество NaCl , которое может заменить 0,125 г KCl , следующим образом:

$$\begin{array}{ll} 1) \quad \text{KCl} - \text{Cl} & 74,6 \text{ г/моль} - 35,46 \text{ г/моль} \\ 0,125 - X & 0,125 \text{ г} - X \text{ г} \\ X = \frac{0,125 \times 35,46}{74,6} = 0,06 \text{ г.} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} 2) \quad \text{NaCl} - \text{Cl} & 58,5 \text{ г/моль} - 35,46 \text{ г/моль} \\ X - 0,06 & X \text{ г} - 0,06 \text{ г} \\ X = \frac{58,5 \times 0,06}{35,46} = 0,09 \text{ г.} \end{array}$$

Итак, вместо 0,125 г KCl , исключенного из питательной смеси, в раствор вносится 0,09 г NaCl .

Состав смеси с исключением калия:

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 - 1 \text{ г}$

$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} - 0,25 \text{ г}$

MgSO₄·7H₂O – 0,25 г

NaCl – 0,09 г

FeCl₃ – 5 капель 1 % раствора

Смесь Кнопа с исключением фосфора.

Соль KN₂PO₄ заменяется солью KCl.

Расчеты проводятся также, как и в предыдущем случае:

$$\begin{array}{ll} 1) \text{ KN}_2\text{PO}_4 - \text{K} & 136,2 \text{ г/моль} - 39,1 \text{ г/моль} \\ 0,25 - X & 0,25 \text{ г} - X \text{ г} \end{array}$$

$$X = \frac{0,25 \times 39,1}{136,2} = 0,07 \text{ г.}$$

$$\begin{array}{ll} 2) \text{ KCl} - \text{K} & 74,6 \text{ г/моль} - 39,1 \text{ г/моль} \\ X - 0,07 & X \text{ г} - 0,07 \text{ г} \end{array}$$

$$X = \frac{74,6 \times 0,07}{39,1} = 0,13 \text{ г.}$$

Следовательно, вместо 0,25 г KN₂PO₄ надо взять 0,13 г KCl.

Состав питательной смеси без фосфора:

Ca(NO₃)₂ – 1 г

MgSO₄·7H₂O – 0,25 г

KCl – 0,225 г

FeCl₃ – 5 капель 1 % раствора.

Смесь Кнопа с исключением азота.

Соль Ca(NO₃)₂ заменяется солью CaSO₄ · 2H₂O.

$$\begin{array}{ll} 1) \text{ Ca(NO}_3)_2 - \text{Ca} & 164,0 \text{ г/моль} - 40,04 \text{ г/моль} \\ 1 - X & 1 \text{ г} - X \text{ г} \end{array}$$

$$X = \frac{1,0 \times 40,04}{164,0} = 0,24 \text{ г.}$$

$$\begin{array}{ll} 2) \text{ CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - \text{Ca} & 172,16 \text{ г/моль} - 40,04 \text{ г/моль} \\ X - 0,24 & X \text{ г} - 0,24 \text{ г} \end{array}$$

$$X = \frac{172,16 \times 0,24}{40,04} = 1,03 \text{ г.}$$

Состав питательной смеси без азота:

CaSO₄ · 2H₂O – 1,03 г

KN₂PO₄ – 0,25 г

MgSO₄ · 7H₂O – 0,25 г

KCl – 0,125 г

FeCl₃ – 5 капель 1 % раствора.

Подобным же образом можно проводить расчеты при исключении других катионов и анионов смеси.

Приготовление концентрированных растворов солей.

Чтобы не производить взвешивание солей при каждой смене растворов, готовят концентрированные растворы так, чтобы в 10 мл содержалось то количество соли, которое должно содержаться в 1 л смеси. Рекомендуется приготовить по 250 мл концентрированных растворов (можно приготовить и по 1 л растворов).

Например, какой крепости должен быть раствор, 10 мл которого содержали бы 1 г вещества?

1. 1 г $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ содержится в 10 мл

X содержится в 250 мл;

$$X = \frac{1 \times 250}{10} = 25 \text{ г.}$$

2. 0,25 г KH_2PO_4 содержится в 10 мл

X содержится в 250 мл;

$$X = \frac{0,25 \times 250}{10} = 6,25 \text{ г.}$$

3. 0,25 г $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ содержится в 10 мл

X содержится в 250 мл;

$$X = \frac{0,25 \times 250}{10} = 6,25 \text{ г.}$$

4. 0,125 г KCl содержится в 10 мл

X содержится в 250 мл;

$$X = \frac{0,125 \times 250}{10} = 3,125 \text{ г.}$$

5. 0,25 г $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ содержится в 10 мл

X содержится в 250 мл;

$$X = \frac{0,25 \times 250}{10} = 6,25 \text{ г.}$$

6. 0,09 г NaCl содержится в 10 мл

X содержится в 250 мл;

$$X = \frac{0,09 \times 250}{10} = 2,25 \text{ г.}$$

7. 0,255 г KCl содержится в 10 мл

X содержится в 250 мл;

$$X = \frac{0,225 \times 250}{10} = 6,375 \text{ г.}$$

8. 1,03 г $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ содержится в 10 мл

X содержится в 250 мл;

$$X = \frac{1,03 \times 250}{10} = 25,75 \text{ г.}$$

После проведения расчетов для приготовления концентрированных растворов, соли точно взвешивают на аналитических весах. Навески каждой соли переносятся в мерные колбы на 250 мл, соли растворяются в дистиллированной воде и объем доводится до метки. Раствор каждой соли готовят в отдельной колбе. Затем все растворы солей переносятся в специальные из темного стекла сосуды с притертой пробкой для хранения. На эти сосуды наклеиваются этикетки с названием соли и указанием навески в граммах. При закладке опыта, а также и смене растворов каждую соль вносят в количестве 10 мл на 1 л питательной смеси.

Кроме вышеназванных солей к питательным смесям рекомендуется добавить микроэлементы бор и марганец во все варианты. Бор в виде борной кислоты (0,5 мг на 1 л воды), а марганец в виде сульфата марганца (0,4 мг на 1 л воды).

2. Выращивание рассады.

Закладке опыта предшествует выращивание рассады, которое осуществляется в теплице агробиостанции под наблюдением старшего лаборанта.

3. Монтровка сосудов.

Для водных культур используют стеклянные банки емкостью 1 л. Горло банок закрывают крышками из пенопласта, в которых делают по три отверстия: первое – в центре (диаметром 1,5–2,0 см) для растения, второе – для продувки воздуха и третье для стеклянной или деревянной палочки или трубки, к которым подвязывают растения. Сосуды покрывают двумя бумажными чехлами – черным, для затенения раствора, а затем белым, для отражения тепловых лучей. После этого на каждый сосуд наклеивается этикетка, на которой указывается вариант опыта, т. е. состав питательной смеси, номер группы, фамилии студентов и дата закладки опыта.

4. Закладка опыта.

Когда готова рассада, смонтированы сосуды, приготовлены концентрированные растворы солей для всех вариантов, приступают к закладке опыта. Опыт закладывается в 3–4-х кратной повторности. Прежде всего, измеряется объем тех сосудов, в которых предстоит выращивать растения. На сосудах делается отметка положения уровня, до которого наливается раствор (карандашом для стекла или наклеиванием полосок бумаги). При этом следует помнить, что наливаемые в сосуды растворы не должны доходить до крышки на 2–3 см. В подготовленные для опыта сосуды заливается 300–500 мл дистиллированной воды, после чего последовательно специальными пипетками для каждого раствора в сосуд вносят растворы солей (по 10 мл каждой соли) в строгом соответствии с составом питательной смеси того или иного варианта опыта. Во избежание образования осадка лучше вначале растворить нитрат кальция, сульфат магния, а после этого и другие соли. Последними вносятся в сосуд железо и микроэлементы. Далее сосуды доливают дистиллированной водой до метки и хорошо перемешивают растворы. После этого определяют значение рН в каждом сосуде при помощи универсального индикатора. Подкисление и подщелачивание питательного раствора при изменении его реакции проводят при помощи слабого раствора едкого натра или соляной кислоты. Вместо соляной кислоты можно вносить лимонную кислоту. Для большинства культур устанавливается значение рН около 6–7.

5. Посадка растений в сосуды.

При посадке растений в сосуды тщательно отбираются одинаковые экземпляры по длине стебля, объему корневой системы, которая хорошо отмывается от кусочков почвы. При этом корневая система осторожно проводится через среднее отверстие крышки, при помощи ваты стебель закрепляется в ней, а затем растение подвязывается к стеклянной палочке (трубке).

6. Уход за водными культурами:

1. Необходимо раз в неделю менять питательный раствор. Меняя растворы, необходимо следить за тем, чтобы не произошло подсыхания корней растений. Чтобы этого не допустить во время

смены растворов, крышку с растением переносят на другую банку, наполовину наполненную водой. Сосуды тщательно моют, ополаскивают дистиллированной водой и потом наливают новые растворы питательной смеси. Ватка, которой растения закрепляются в пробках, также время от времени меняется.

2. По мере уменьшения объема питательного раствора за счет транспирации сосуды доливают дистиллированной водой до постоянного уровня.

3. Периодически следует проверять значение рН питательной смеси и поддерживать концентрацию ионов водорода на оптимальном уровне (рН=6–7).

4. Ежедневно с целью обогащения корневой системы кислородом, продувать питательную смесь с помощью резиновой груши в течение 10–15 мин или путем энергичного перемешивания раствора.

5. Содержать растения в чистоте, для чего один раз в неделю мыть листья при помощи смоченной ваты или с помощью пульверизатора.

7. Наблюдения за растениями.

В течение всего вегетационного периода необходимо проводить фенологические наблюдения. Например, у томатов выделяют следующие фазы роста и развития: рассада; начало цветения второй кисти; образование плодов; созревание; массовое созревание; уборка урожая. Через каждые семь дней необходимо измерять высоту надземной части, отмечать цвет и количество листьев, а также общее состояние растений. Наблюдения проводить в строго установленном время (в 9–10 часов). В течение вегетационного периода желательно 2–3 раза сфотографировать растения.

По окончании вегетационного опыта у растений разных вариантов определяют: высоту и вес надземной части, объем корневой системы, сырой и сухой вес корней, описать внешний вид растений (каждого варианта).

Объем корневой системы измеряется следующим образом. Корневая система погружается в мерный цилиндр с водой, уровень которой первоначально был установлен. Количество вытесненных миллилитров воды (определяется по поднятию уровня) будет соответствовать объему корневой системы.

Перед определением сырого веса всего растения корневая система тщательно обсушивается фильтровальной бумагой.

Для определения сухого веса растения помещают в бумажные пакеты и все взвешивания проводят вместе с пакетом. Растения сушат при температуре 100–105°C до постоянного веса. После окончания высушивания пакет взвесить отдельно и по разности в весе определить сухой вес растений. Полученные результаты оформляют в виде таблиц, кривых роста (рост растений разных вариантов), диаграмм. К отчету прикладывают рисунки по вариантам опыта. Делают выводы в соответствии с целью опыта. Пример оформления результатов опыта с водной культурой томата приведен в приложении 8.

Вопросы для закрепления.

1. Чем отличаются водные культуры от почвенных?
2. Какие вопросы изучаются при постановке водных культур?
3. Назовите ученых, разработавших методику проведения водных культур.
4. В чем заключается уход за растениями в условиях водной культуры?
5. В связи с чем приходится часто производить смену питательных растворов?

Литература

1. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – Изд. 3-е., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 34–35.
2. Методические указания по учебно-производственной практике / под ред. Л. С. Белозорова. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1988. – С. 31–37.
3. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для высш. с.-х. учеб. заведений / под ред. Н. Н. Третьякова. – М. : Колос, 1982. – С. 156–166.

4. Соколов, А. В. Вегетационный метод / А. В. Соколов // Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами. – М : Наука, 1967. – С. 104–124.
5. Цыгуткин, А. С. Классификация и терминология вегетационного опыта / А. С. Цыгуткин, И. И. Прохорова // Агрехимический вестник. – 2003. – № 1. – С. 30–32.

**Контрольные вопросы и задания
по теме «Минеральное питание растений»**

1. Почему выражение «корень всасывает почвенный раствор» ошибочно?
2. Корни проростков погрузили в слабый раствор NH_4Cl . Через несколько часов величина рН раствора понизилась. Почему?
3. Мраморную полированную пластинку поместили вертикально в корневую зону фасоли. Через семь недель на поверхности пластинки образовались отпечатки корней. Чем это можно объяснить?
4. Как объяснить уменьшение интенсивности поглощения корнями минеральных веществ при избыточном увлажнении почвы?
5. В каких листьях растений содержится больше зольных элементов: в молодых или старых? С чем это связано?
6. Перед листопадом из стареющих листьев яблони отводится в стебель до 52 % азота и 36 % калия, а содержание кальция в листьях увеличивается в среднем на 18 %. Какие выводы можно сделать на основании приведенных данных?
7. По данным К. Мотеса, после 8 суток затемнения содержание белковой серы в листьях фасоли уменьшилось в 1,6 раза, а сульфатов возросло в 1,4 раза. Как объяснить эти изменения?
8. Какие листья обнаруживают более резко выраженные симптомы фосфорного голодания при недостатке фосфора в почве – верхние или нижние? С чем это связано?
9. Почему содержание нитратов в листьях резко снижается при выставлении растения на яркий свет?
10. Как объяснить наличие разнообразных аминокислот и почти полное отсутствие анионов NO_3^- в пасоке (ксилемном соке) многих древесных растений, в том числе произрастающих на почве, богатой нитратами?

6. ВОДНЫЙ РЕЖИМ РАСТЕНИЙ

6.1. *Определение содержания воды в листьях разных ярусов*

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Степень оводненности растений является одним из существенных показателей их водного режима. С содержанием воды связаны концентрация клеточного сока, отношение его к почвенной и атмосферной засухе. Определение содержания воды в листьях дает возможность выяснить эколого-физиологические особенности растений, вскрыть механизмы их адаптации к условиям среды.

Содержание влаги в растительных тканях обычно вычисляют в процентах от их сухой или сырой массы. В листьях большинства растений средней полосы в зависимости от погодных условий и этапов онтогенеза содержится 65–82 % воды от сырой массы. Различные по засухоустойчивости растения отличаются характером водного обмена.

Влаголюбивые виды и сорта имеют высокое содержание воды при достаточном количестве ее в почве, но быстро теряют воду при понижении влажности почвы. У более устойчивых к засухе форм содержания влаги в растениях, как правило, ниже, но ее количество более устойчиво.

Цель работы: определить содержание воды в листьях разных ярусов.

Материалы и оборудование: аналитические весы; сушильный шкаф; бюксы; эксикатор; щипцы; листья разных ярусов кукурузы, пшеницы и других растений.

ХОД РАБОТЫ

Количество воды и сухого вещества в листьях определяют весовым методом. При этом используют листья верхнего и нижнего ярусов, в основном злаковых культур. Берут только нормально развитые зеленые листья, не имеющие явных следов повреждения

и подсыхания. Каждое определение проводят в 3-кратной повторности при навеске сырых листьев не менее 5 г.

Сначала определяют массу абсолютно сухого бюкса. Для этого чисто вымытый бюкс с крышкой, поставленной в вертикальное положение, помещают на полку сушильного шкафа с температурой 100–105°C. Через час бюкс берут тигельными щипцами и ставят его открытым в эксикатор на 30 минут для охлаждения. После этого бюкс закрывают крышкой, берут щипцами и взвешивают на аналитических весах. Затем его еще раз ставят в сушильный шкаф на 30 минут, охлаждают в эксикаторе и снова взвешивают. Если масса бюкса не изменится, то в него можно помещать пробу.

Бюкс с растительным материалом взвешивают на аналитических весах, ставят на 4–5 часов в шкаф, нагретый до 105°C, затем охлаждают в эксикаторе (бюкс должен быть открытым) и вновь взвешивают. Однако 4–5 часов для удаления всей влаги из растения бывает недостаточно, поэтому бюксы после взвешивания открывают и помещают в сушильный шкаф при той же температуре. Затем охлажденные в эксикаторе бюксы снова взвешивают и так повторяют до тех пор, пока масса бюкса с материалом не будет постоянной.

При работе необходимо соблюдать следующие правила. Сырой материал должен лежать в бюксе рыхло. Нельзя держать его в шкафу без перерыва больше 5 часов. Бюкс с навеской следует ставить в шкаф, нагретый до 105°C. Температура в различных местах сушильного шкафа не бывает постоянной, поэтому бюксы желательно помещать на одном уровне с термометром. Не следует их придвигать близко к стенкам шкафа, так как они могут иметь слишком высокую температуру, чем показывает термометр. Брать бюксы следует тигельными щипцами, на концы которых надеты каучуковые кольца, так как при прикосновении к бюксам пальцами можно изменить их массу.

Вычитая из массы исходного растительного материала массу высушенного материала, получают количество воды во взятой навеске. Рассчитывают содержание воды в процентах от сухой и сырой массы материала и делают вывод о зависимости содержания воды в листьях от их месторасположения на растении.

Результаты работы записывают по схеме таблицы 4.

Таблица 4

Определение содержания воды в листьях разных ярусов
(Практикум по физиологии растений, 1982)

Культура	Ярус листьев	Повторность	№ бюкса	Масса бюкса, г.	Масса бюкса с сырой навеской, г.	Масса бюкса с сухой навеской, г.	Сырая масса, г.	Сухая масса, г.	Содержание воды		
									г.	% к сырой массе	% к сухой массе
Овес (куку- руза и др.)	Нижний	1									
		2									
		3									
	Верхний	Среднее									
		1									
		2									
	Среднее	3									

Данная работа может быть дополнена анатомическими наблюдениями над листьями нижних и верхних ярусов. При этом оказывается, что верхние листья несут на себе черты ксероморфизма (закон Заленского).

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. Чем объяснить тот факт, что листья верхних ярусов имеют ярко выраженную ксероморфную структуру?
2. В чем заключается сущность закона Заленского?

Литература

1. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – Изд. 3-е., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 136.
2. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для высш. с.-х. учеб. заведений / под ред. Н. Н. Третьякова. – М. : Колос, 1982. – С. 41–43.

3. Якушкина, Н. И. Физиология растений : учеб. для студ. вузов, обучающихся по специальности 032400 «Биология» / Н. И. Якушкина, Е. Ю. Бахтенко. – М. : ВЛАДОС, 2005. – С. 418–423.

6.2. Явление гуттации

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Кроме верхнего концевое двигателя водного тока, функцию которого выполняют листья, в растениях существует и нижний концевой двигатель. Это хорошо доказывается на примере таких явлений, как гуттация и плач. Листья растений, клетки которых насыщены водой, в условиях высокой влажности воздуха, препятствуют испарению, выделяют капельно-жидкую воду с небольшим количеством растворенных веществ – гуттируют. Выделение жидкости осуществляется через специальные водные устьяца – **гидатоды**. Таким образом, процесс гуттации является результатом одностороннего тока воды, происходящего в отсутствие транспирации, и, следовательно, вызывается какой-то иной причиной.

Силу, вызывающую в растении односторонний ток воды с растворенными веществами, не зависящего от процесса транспирации, называют **корневым давлением**. Наличие корневого давления позволяет говорить о нижнем концевом двигателе водного тока. Опыты показывают, что величина корневого давления равна примерно 1–1,5 бар.

Цель работы: убедиться в наличии у растений нижнего концевое двигателя водного тока.

Материалы и оборудование: 3–4 дневные проростки овса или ячменя в глиняных горшочках или жестяных консервных банках наполненных опилками; 10 % раствор NaCl; хлороформ; стеклянные колпаки (стаканы) с отверстиями в дне; стеклянные палочки с ватой или проволока с фильтровальной бумагой для снятия капель; кристаллизаторы; часы.

ХОД РАБОТЫ

Проростки злаковых растений, выращенные в глиняных горшочках с влажными опилками, накрыть химическим стаканом (колпаком) с отверстием в дне. Под колпаком создается влажная атмосфера и проростки начинают гуттировать. Провести наблюдения за гуттацией проростков, изменяя условия окружающей среды для корневой системы и наземных частей (рис. 10).

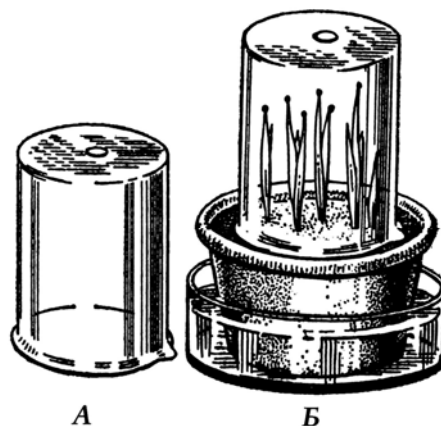


Рис. 10. Установка для изучения гуттации (Викторов, 1991):
А – стакан с отверстием в дне; Б – общий вид установки

Опыт 1. Наблюдения проводят при комнатной температуре. После появления первых капелек на проростках их снимают при помощи стеклянной палочки с ватой на конце через отверстие в дне стакана. Отметить время и следить за появлением новых капелек на этих же проростках. Наблюдение повторяют 3–4 раза и выводят среднюю скорость гуттации при комнатной температуре.

Опыт 2. Те же наблюдения проводят при разной температуре в зоне корневой системы. Для этого один горшочек с проростками, не снимая колпака, помещают в кристаллизатор с водой, нагретой до 37–40°C, а другой помещают в кристаллизатор со снегом (или льдом). Определяют скорость появления капелек при разной температуре.

Опыт 3. Под колпак поместить ватный тампон, пропитанный хлороформом. При этом гуттация прекращается, так как хлороформ угнетает деятельность корневой системы. Затем вату, про-

питанную хлороформом убрать из-под колпака и снова проследить за скоростью появления капелек на кончике проростков.

Опыт 4. Полить проростки злаков небольшим количеством миллилитров (5–10 мл) 10 %-го раствора поваренной соли и проследить за гуттацией проростков при снижении водного потенциала почвенного раствора.

Сравнить результаты проведенных наблюдений, сделать выводы и ответить на вопросы:

1. По какой части стебля идет восходящий ток у растений?
2. Что представляют собой гидатоды?
3. В каких условиях более интенсивно протекает процесс гуттации у растений?

Литература

1. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд.– Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 44–45.
2. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 140–141.
3. Якушкина, Н. И. Физиология растений : учеб. для студ. вузов, обучающихся по специальности 032400 «Биология» / Н. И. Якушкина, Е. Ю. Бахтенко. – М. : ВЛАДОС, 2005. – С. 106–108.

6.3. Плач растений

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Если срезать растения и к срезанному концу присоединить стеклянную трубку, то по ней будет подниматься жидкость. Анализ показывает, что это вода с растворенными веществами, получившая название **пасоки**. В некоторых случаях, особенно в весенний период, плач наблюдается и при надрезе веток растений. Именно на этом основано вытекание сока при надрезе ствола

березы весной. Определения показали, что объем выделяющейся жидкости (пасоки) во много раз превышает объем корневой системы. Таким образом, плач – это не просто вытекание жидкости в результате пореза. Это приводит к выводу, что плач, как и гуттация, связан с наличием одностороннего тока воды через корневые системы, не зависящего от транспирации. Этот процесс связан с использованием энергии, освобождающейся при дыхании.

Скорость плача зависит, прежде всего, от развития активной поверхности корневой системы и наличия дыхательного материала в корнях. Поэтому по объему выделенной пасоки можно судить о функциональной активности корневой системы. Из внешних условий на плач растений сильное влияние оказывают влажность, аэрация, температура корнеобитаемой среды, концентрация окружающего раствора.

Цель работы: познакомиться с работой нижнего концевого двигателя водного тока у растений и влиянием температуры на скорость выделения пасоки.

Материалы и оборудование: трехнедельные растения подсолнечника, выращенные в водной культуре; лезвие безопасной бритвы; каучуковая трубка; сосуды на 100 мл с корковыми пробками; дугообразно изогнутые толстостенные стеклянные капилляры (сифоны); градуированные пробирки; кристаллизаторы; термометры; вата; лед.

ХОД РАБОТЫ

Подбирают 6 растений с одинаковым развитием корней и надземной части, выращенные в условиях водной культуры на полной питательной смеси Кнопа. Срезают их лезвием безопасной бритвы, оставив пенек 2–3 см. Затем помещают декапитированные растения в сосуды с 80 мл водопроводной воды и ваткой закрепляют пенек в корковой пробке (рис. 11).

На пенек надевают каучуковую трубку соответствующего диаметра, заполняют водой и вставляют в него дугообразно изогнутый толстостенный стеклянный капилляр (сифон), заранее заполненный водой. После того как у всех растений начнет выделяться пасока, опускают кончик капилляра в градуированную пробирку, собирают в течение часа пасоку и определяют объем.

Затем два сосуда ставят в кристаллизатор с водой, нагретый до 35°C, два других сосуда помещают на лед и оставшееся два сосуда оставляют при комнатной температуре. После этого снова устанавливают объем пасоки, выделенной за 1 час. Изменение температуры в сосудах за этот период контролируют термометром.

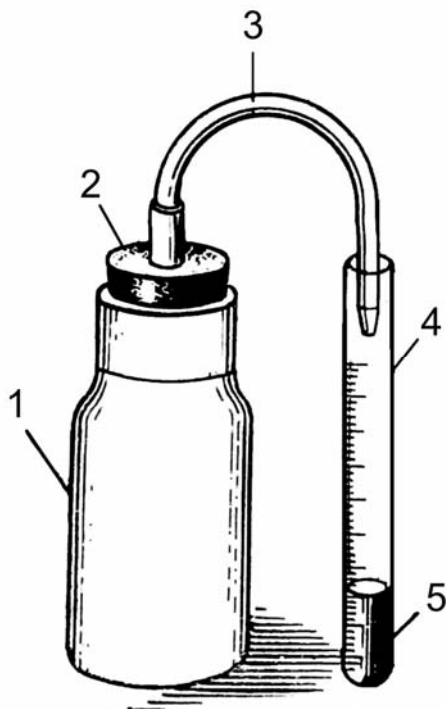


Рис. 11. Установка для сбора пасоки
(Практикум по физиологии растений, 1982):
1 – стеклянный сосуд на 100 мл, 2 – пробка,
3 – толстостенный стеклянный капилляр,
4 – градуированная пробирка, 5 – пасока

Рассчитывают изменения скорости плача под действием температуры и объясняют результаты опыта, которые заносят в табл. 5.

Таблица 5

Влияние разной температуры на скорость выделения пасоки
(Практикум по физиологии растений, 1972)

Условия опыта	Повторность	Выделено пасоки за 1 час в мл		Стимулирование (+) или подавление (-) плача (% к исходной величине)
		При комнатной температуре	После смены температуры	
Комнатная температура (контроль)	1			
	2			
Повышение температуры до 30°C	1			
	2			
Снижение температуры до 5°C	1			
	2			

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. О чем свидетельствует плач растений?
2. Каков химический состав пасоки?

Литература

1. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 138–139.
2. Практикум по физиологии растений / под ред. И. И. Гунара. – М. : Колос, 1972. – С. 37–38.
3. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для высш. с.-х. учеб. заведений / под ред. Н. Н. Третьякова. – М. : Колос, 1982. – С. 43–47.

6.4. Потометрический метод определения скорости поглощения воды растением

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Поступление воды в растение осуществляется благодаря действию двигателей водного тока – верхнего и нижнего. Первый

представляет собой присасывающую силу транспирации надземных органов, а второй – поглощение воды с участием корневой системы. Если работа верхнего концевого двигателя зависит от внешних условий – температуры, освещения, насыщенности воздуха парами воды, то поступление воды в корни растений обусловлено в значительной степени их активной метаболической деятельностью, в результате которой создается градиент водного потенциала между клетками корневых волосков и окружающим водным раствором.

Измерить количество воды, поступившей в растение, можно с помощью потометра – простейшего прибора, состоящего из заполненного водой сосуда (колбы или цилиндра), ёмкостью на 200–250 мл. К колбе подбирается пробка (лучше резиновая) с тремя отверстиями: одно (в центре) – для растения, другое – для изогнутой под прямым углом градуированной пипетки, третье – для трубки с воронкой, через которую подливается вода (рис. 12).

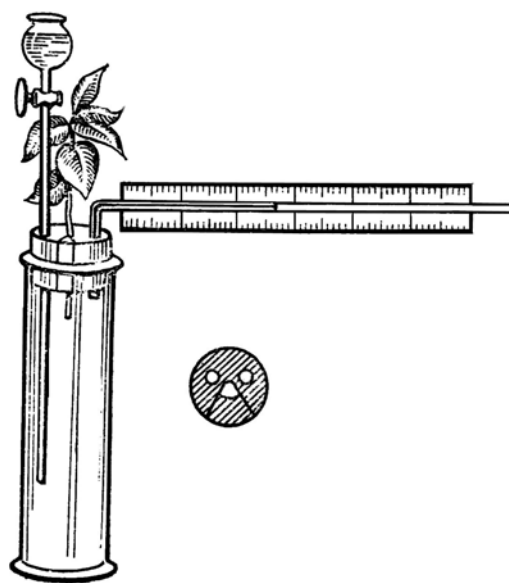


Рис. 12. Потометр (Викторов, 1983)

Воду следует брать кипяченую или дистиллированную, чтобы не было пузырьков воздуха. Исследуемое растение вставляют в сосуд, добиваясь герметизации установки с использованием пластилина, и измеряют скорость передвижения мениска в градуированной пипетке. В связи с тем, что главный двигатель водно-

го тока – отрицательное значение водного потенциала клеток листа, то, изменяя условия для транспирации, можно выяснить влияние внешних факторов на поглощение воды растением, а, срезая надземную часть, изучают поступление воды в корневую систему.

Цель работы: ознакомиться с потометрическим методом определения скорости поглощения воды растениями.

Материалы и оборудование: молодые растения, выращенные в условиях водной культуры (кукуруза, томаты); потометр; штатив; кипяченая или дистиллированная вода; вата; пластилин; вентилятор; фен; кристаллизатор; скальпель.

ХОД РАБОТЫ

Вставить в отверстие пробки потометра исследуемое растение, после чего обработать все стыки между стеблем и пробкой, пробкой и горлышком сосуда пластилином, добиваясь полной герметичности. Открыв зажим, через воронку доливают в наполненный водой потометр воду так, чтобы между пробкой и поверхностью воды не было воздуха, а градуированная пипетка вся заполнилась водой. Затем зажим плотно закрывают. Проверить зажим установки, наклоня потометр вниз: при этом мениск в пипетке не должен передвигаться.

Поставить потометр вертикально (закрепить в штативе) и измерить скорость передвижения мениска в градуированной пипетке за три пятиминутных интервала (в зависимости от интенсивности поглощения воды растением интервалы между отсчетами можно увеличивать или уменьшать). В зависимости от внешних условий быстрота всасывания воды растением будет меняться, а с ней и скорость передвижения мениска.

Если при монтаже потометра используется градуированная микропипетка, а не стеклянная трубка, объем поглощенной воды можно определить непосредственно по градуировке, умножив цену одного деления (в мл) на число делений, пройденных мениском.

В этой работе рекомендуется измерения произвести в следующей последовательности:

1. Растение находится в условиях аудитории (воздух неподвижен).

2. На растение направлен поток воздуха от вентилятора;

3. На растение направлен поток воздуха от фена.

Полученные результаты занести в таблицу 6

Таблица 6

Скорость поступления воды в растение

Вариант опыта	Поглощение воды в мл			Средняя скорость поглощения мл за 1 мин.
	поглощение через 5 мин	поглощение через 10 мин	поглощение через 15 мин	
1. Растение в условиях неподвижного воздуха 2. Растение в потоке воздуха от вентилятора 3. Растение в потоке воздуха от фена				

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. Верхний концевой двигатель водного тока: доказательство его существования, принцип и механизм действия.
2. Какой из двух концевых двигателей водного тока играет большую роль в жизни растений?

Литература

1. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд.– Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 42–44.
2. Шабельская, Э. Ф. Лабораторные занятия по физиологии растений : для пед. ин-тов по биол. спец. / Э. Ф. Шабельская. – Минск : Высшая школа, 1981. – С. 35–39.

6.5. Определение интенсивности транспирации и относительной транспирации весовым методом

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Интенсивность транспирации – количество воды, испаренное с единицы листовой поверхности в единицу времени. Эта величина зависит от напряженности внешних факторов, времени суток и варьирует в пределах 15–250 г/м²·ч.

Основной метод определения интенсивности транспирации – весовой, основанный на учете потери воды при испарении. Этим методом можно выявить транспирацию целого растения или отдельных его частей. Работа с целым растением представляет значительные трудности, поэтому чаще пользуются срезанными побегами или листьями. Чтобы во время опытов оводненность тканей не снижалась, их помещают в прибор Веска, заполненный водой (рис. 13).

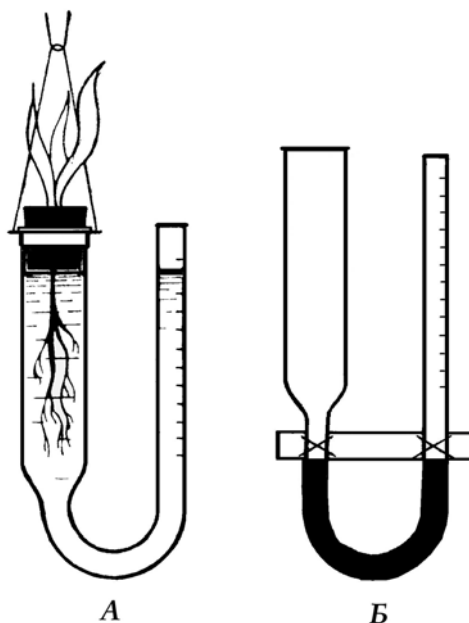


Рис. 13. Прибор Веска (А) и его модификация (Б) (Шабельская, 1981)

Относительная транспирация – отношение интенсивности транспирации к интенсивности испарения со свободной водной поверхности при тех же условиях. Этот показатель характеризует способность растений регулировать транспирацию и выражается обычно цифрами 0,1–0,5 поднимаясь иногда до 1 и опускаясь

у некоторых хорошо защищенных от потери воды листьев до 0,01 и ниже.

Цель работы: а) определить интенсивность транспирации у срезанных листьев в различных условиях весовым методом; б) определить интенсивность испарения воды со свободной водной поверхности и вычислить величину относительной транспирации.

Материалы и оборудование: листья различных растений; прибор Веска; чашки Петри; весы с разновесами или электронные весы; пластилин; линейка; бумага миллиметровая или в клетку; бумага фильтровальная; ножницы; дистиллированная вода или охлажденная кипяченая вода.

ХОД РАБОТЫ

Опыт 1. Определение интенсивности транспирации весовым методом. Для опыта берут прибор Веска, представляющий собой U-образную стеклянную трубку, одна сторона которой значительно расширена. Прибор заполняют кипяченой или дистиллированной водой. Затем подрезают кончик черешка или веточки под водой и тщательно закрепляют лист (веточку) в резиновой пробке и вставляют ее в расширенную часть прибора. Промазывают пластилином или вазелином все щели в пробке и между пробкой и стеклом. Затем вытирают собранный прибор снаружи и взвешивают его вместе с листом (веточкой). Выставляют прибор на 60 мин в определенные условия в соответствии со схемой опыта, после чего его снова взвешивают. Разница в весе показывает количество испарившейся воды с данной листовой поверхности за определенный промежуток времени (60 мин). При этом, по заданию преподавателя студенты ставят приборы в разные условия, используя дополнительное освещение, обогреватель воздуха, вентилятор, фен и т. д. Для определения интенсивности транспирации производят пересчет испарившейся воды на единицу поверхности (т. е. на один квадратный метр или квадратный дециметр) за один час.

При вычислении испаряющей поверхности у лиственных пород пользуются контуром листа, вырезанным из бумаги. Из той же бумаги, на которой обрисован контур листовой пластинки

(или всех листьев веточки), вырезают квадрат площадью 100 см² (10x10 см) и взвешивают его. Затем взвешивают и бумажную копию листовой пластинки (или копии листовых пластинок веточки). Из полученных данных составляют пропорцию и находят неизвестное, т. е. площадь листа (или веточки) $A : A_1 = S : S_1$,

$$S_1 = \frac{A_1 \times S}{A}, \quad (22)$$

где A – вес квадрата в г; A_1 – вес рисунка листа в г; S – площадь квадрата в см²; S_1 – искомая площадь листовой поверхности в см².

Затем определяют интенсивность транспирации (в г/дм²·час), которую рассчитывают по формуле:

$$T = \frac{n \cdot 60 \times 100}{S \cdot t}, \quad (23)$$

где T – интенсивность транспирации г/дм²·час; n – количество испарившейся воды листом за время опыта, г; S – площадь листа, см²; t – продолжительность опыта, мин; 60 – коэффициент перевода минут в часы; 100 – коэффициент перевода см² в дм².

Опыт 2. Определение относительной транспирации. Для определения относительной транспирации необходимо определить интенсивность испарения со свободной водной поверхности. Для этого в чашку Петри наливают небольшое количество воды, взвешивают на весах с точностью до 0,01 г и оставляют в тех же условиях, где находятся приборы Веска с листом. Через 60 мин взвешивают повторно и определяют количество воды, испарившейся с поверхности чашки Петри. Площадь чашки Петри определяют по формуле:

$$S = \pi \times r^2 \quad (24)$$

После этого определяют интенсивность испарения со свободной водной поверхности (E) по выше приведенной формуле (23) для определения интенсивности транспирации. Затем определяют величину относительной транспирации (T_1).

$$T_1 = \frac{T}{E} \quad (25)$$

Сравнивают полученные величины и делают выводы о зависимости интенсивности транспирации и относительной транспирации от условий внешней среды и о способности растений регу-

лизовать транспирацию. Результаты исследований записывают по форме таблицы 7.

Опыт 3. Определение интенсивности транспирации объемным методом. Берут две бюретки (лучше на 25 мл). На нижние концы этих бюреток надевают резиновые трубки с зажимами. Бюретки заполняют охлажденной прокипяченной водой (или дистиллированной) и герметично закрывают резиновыми пробками, в которые вставляют примерно одинаковые по листовой поверхности веточки разных растений. Затем бюретки переворачивают растениями вниз и устанавливают в них уровень воды на определенном делении. Бюретки в таком положении закрепляют в штативах и выставляют в разные условия на определенное время (на один час). По окончании времени экспозиции определяют, насколько миллилитров понизился уровень воды в бюретках. Это и будет то количество воды, которое потеряно листовой поверхностью за время опыта. Далее необходимо определить площадь листьев у взятых для опыта растений по методике, описанной в первом опыте.

Таблица 7

Определение интенсивности транспирации и относительной транспирации

Варианты опыта	Вес прибора Веска и чашки Пети		Потеря в весе	Площадь, см ²	Интенсивность транспирации и испарения	Относительная транспирация
	исходный	через 60 мин				
1. Прибор Веска в аудитории						
2. Прибор Веска на улице						
3. Чашка Пети с водой в аудитории						

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. Что такое транспирация?

2. Чем отличается транспирация от испарения со свободной водной поверхности?
3. В каких единицах измеряется интенсивность транспирации?
4. Что Вы понимаете под термином «относительная транспирация»?

Литература

1. Васильева, З. В. Учебно-методическое пособие по физиологии растений : для студентов-заочников IV–V курсов биолого-химических факультетов / З. В. Васильева, Г. А. Кириллова, А. В. Строчкова. – М. : Просвещение, 1977. – С. 25–27.
2. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для высш. с.-х. учеб. заведений ; под ред. Н. Н. Третьякова. – М. : Колос, 1982. – С. 51–56.
3. Шабельская, Э. Ф. Лабораторные занятия по физиологии растений : учеб. пособ. для пед. ин-тов по биол. спец. / Э. Ф. Шабельская. – Минск : Высш. школа, 1981. – С. 39–43.

6.6. Значение кутикулы и пробки для защиты растения от потери воды

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

На стеблях древесных и других частях растений в конце первого лета образуется вторичная покровная ткань – пробка, толщина которой с каждым годом увеличивается. В клеточных стенках пробковой ткани откладывается **суберин** – жироподобное вещество, непроницаемое для воды и газов, вследствие чего протопласты опробковевших клеток отмирают. После формирования пробковой ткани газообмен стебля осуществляется через чечевички.

Цель работы: ознакомиться с опытами, доказывающими роль пробки и кутикулы в защите растений от потери воды.

Материалы и оборудование: безлистные побеги древесных растений; скальпель; технические весы с разновесами; чашка с парафином; электроплитка; яблоки; клубни картофеля; концентрированная H_2SO_4 ; большие часовые стекла; стеклянный колпак.

ХОД РАБОТЫ

Опыт 1. Вырезать из побега изучаемого растения (смородина) два одинаковых отрезка длиной 12–15 см и осторожно снять скальпелем у одного из них пробку до зеленой паренхимы. Залить концы отрезков расплавленным парафином (для предотвращения испарения с поверхности отрезков), после чего взвесить их с точностью до 0,01 г. Через 2 часа повторить взвешивание. Сделать выводы о значении пробки, указав, во сколько раз изменится потеря воды побегом после удаления пробковой ткани.

Опыт 2. Взять два близких по весу и по форме яблока и два клубня картофеля. С одного экземпляра яблока и картофеля осторожно скальпелем снять пробковый слой. Затем все экземпляры взвесить (с точностью до 0,01 г), поместить на часовые стекла и накрыть сверху стеклянным колпаком. Под колпак поставить стаканчик с концентрированной серной кислотой (для поглощения влаги). В течение 6 дней проводить взвешивание через 24 часа.

Из полученных данных вычерчиваются кривые, характеризующие процесс испарения того и другого объекта – с защитным слоем и без него. Характер кривой будет различным для яблока и клубня картофеля. У последнего испарение будет задерживаться ввиду образования пробкового слоя.

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. Почему К. А. Тимирязев назвал транспирацию «неизбежным злом»?
2. Профессор Л. А. Иванов проделал следующий опыт: в начале зимы с побегов бузины (без отделения их от дерева) осторожным соскабливанием был удален слой пробки; находящиеся на этих побегах почки к концу зимы погибли. Часть лишенных пробки мест была обернута фольгой, и почки на них остались живыми. Благополучно перезимовали и почки на неповрежденных побегах. Как объяснить результаты этого опыта?

Литература

1. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 55.

2. Рабочая тетрадь для лабораторно-практических занятий по физиологии растений / авт.-сост. И. А. Третьякова. – Челябинск : Изд-во ЧГПУ, 2004. – С. 64–67.

6.7. Определение интенсивности кутикулярной транспирации

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Различают транспирацию **устыичную** (диффузию водяного пара, образовавшегося в межклетниках листа) и **кутикулярную** (испарение воды клетками эпидермы). При открытых устьичных щелях одновременно осуществляются обе формы транспирации, при закрытых – только кутикулярная. Если у листа, имеющего устьица только на нижней стороне, замазать эту сторону вазелином, то можно определить интенсивность кутикулярной транспирации. С листьями растений, имеющих устьица на двух сторонах (подсолнечник, бобы, кукуруза и т. д.) – подобные опыты не проводятся.

Цель работы: определить интенсивность кутикулярной транспирации у листьев растений, имеющих устьица только на нижней стороне.

Материалы и оборудование: свежие листья плюща, фуксии, цикламена, сирени; вазелин; аналитические весы; скальпель; пробирки.

ХОД РАБОТЫ

Срезать 10 одинаковых листьев, имеющих устьица только на нижней стороне. Из них 5 – будут использованы в качестве контроля, а 5 других – в качестве опытного варианта. Затем смазать нижнюю сторону листьев опытного варианта тонким слоем вазелина. После этого взвесить на аналитических весах листья контрольного и опытного вариантов, отметить время начала опыта, данные занести в таблицу 8.

Определение интенсивности кутикулярной транспирации

(Рабочая тетрадь для лабораторно-практических занятий..., 2004)

Название растения	Вариант опыта	Повторность	Масса листьев, г		Испарено воды, г	Транспирация, % от общей	
			исходная	после экспозиции		устычная	кутикулярная
	Контр.	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
		Ср. значение					
	Опыт	1					
		2					
		3					
		4					
		5					
Ср. значение							

Через 60 мин взвешивание повторить. Уменьшение массы контрольных листьев (a) характеризует общую транспирацию (устычную и кутикулярную). Для определения доли кутикулярной транспирации следует потерю воды листьями опытного варианта (b) умножить на 2, так как у листьев контрольного варианта испаряют обе поверхности (верхняя и нижняя). Результаты опыта выразить в процентах от общей транспирации по формуле:

$$X = \frac{2 \times b}{a} \times 100\%, \quad (26)$$

где X – доля кутикулярной транспирации; a – уменьшение массы контрольных листьев, г; b – уменьшение массы опытных листьев, г.

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. Какие виды транспирации Вы знаете?
2. Каковы масштабы различных видов транспирации и их значение?
3. Каков механизм работы устьичного аппарата?
4. Как влияют внешние факторы на состояние устьиц?

Литература

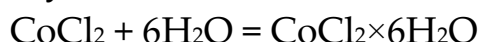
1. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд.– Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 48–49.
2. Рабочая тетрадь для лабораторно-практических занятий по физиологии растений / авт.-сост. И. А. Третьякова. – Челябинск : Изд-во ЧГПУ, 2004. – С. 60.

6.8. Сравнение транспирации верхней и нижней сторон листа хлоркобальтовым методом

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Метод основан на учете скорости порозовения голубой фильтровальной бумаги, пропитанной безводной солью хлорида кобальта при поглощении ею паров воды, испаряемых листом. Соль меняет свой цвет в зависимости от присутствия кристаллизационной воды. Этот метод используется для сравнения интенсивности транспирации верхней и нижней стороны листа. Поскольку на нижней стороне листа у большинства растений устьиц больше, то и изменение окраски идет быстрее у бумаги, приложенной к нижней стороне листа.

Уравнение химической реакции «порозовения» и «посинения» хлоркобальтовой бумаги:



Цель работы: познакомиться с разным ходом интенсивности транспирации верхней и нижней сторон листа.

Материалы и оборудование: листья разных растений; полоски из фильтровальной бумаги, пропитанные 5 % раствором хлорида кобальта; часы; микроскоп; предметные стекла; лезвие безопасной бритвы; препаровальные иглы; пинцет; электроплитка или спиртовка; нитки или резиновые кольца.

ХОД РАБОТЫ

Взять пинцетом два квадратика фильтровальной бумаги (2×2 см), пропитанной 5 % раствором хлорида кобальта, подсушить над электроплиткой до ярко-голубого цвета и быстро

приложить по одному квадратику к верхней и нижней поверхности листа любого растения. Осторожно покрыть лист двумя предметными стеклами, скрепив их с обоих концов резиновыми кольцами или нитками. Лист расположить так, чтобы обе стороны его находились в одинаковых условиях освещения. Пронаблюдать за изменением окраски хлоркобальтовой бумаги. Во влажных условиях она должна изменить голубой цвет на розовый. Записать начало и конец порозовения хлоркобальтовой бумаги на нижней и верхней сторонах листа. По времени перехода голубого цвета бумаги в розовый можно судить о скорости процесса транспирации. Чем короче промежутки времени, в течение которого бумага полностью порозовеет, тем быстрее идет транспирация и наоборот.

Сделать срезы верхней и нижней эпидермы листа изучаемого растения, рассмотреть их в микроскоп при малом увеличении, обратив внимание на количество устьиц в поле зрения. Сделать рисунки нижней и верхней эпидермы листа и сравнить результаты наблюдений.

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. В каких листьях интенсивность кутикулярной транспирации будет наивысшей – в молодых, зрелых или старых?
2. Какие типы реакций устьичного аппарата на условия среды Вы знаете, и в чем их суть?

Литература

1. Специальный практикум по физиологии и биохимии растений / Т. П. Астафурова [и др.]. – Вып. 4. – Томск : Изд-во ТГУ, 2001. – С. 27–35.
2. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 49–50.

6.9. Водообмен ветки сосны

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Водообмен растения складывается из поступления воды в растение, передвижения ее по проводящим тканям и транспирации. При изучении этих процессов растение помещают в сосуд с определенным количеством воды, взвешивают всю установку, а затем, через несколько дней вторично взвешивают установку, учитывают количество поглощенной растением воды (по убыли ее в сосуде) и количество транспирированной воды (по уменьшению массы всей установки). Для получения ответа на вопрос, по какой части стебля идет восходящий ток, в сосуд добавляют небольшое количество краски, а также ставят второй опыт с окольцованным стеблем.

Цель работы: ознакомиться с водообменом растения, который складывается из поступления воды, ее транспорта и испарения.

Материалы и оборудование: ветка сосны; раствор эозина (30 мг/л); весы с разновесами или электронные весы с точностью до 0,01 г; стеклянные сосуды емкостью 0,5 л; пробки; лезвие безопасной бритвы; скальпель; пробочные сверла; кристаллизатор; дистиллированная вода; вата; бумага; клей.

ХОД РАБОТЫ

Налить в сосуд (колбу) примерно $\frac{3}{4}$ объема воды, подкрашенной эозином и взвесить. Взять двухлетнюю ветку сосны, очистить нижнюю часть стебля (до мутовки) от хвои и вставить стебель в отверстие резиновой пробки. После этого обновить срез стебля под водой в широком кристаллизаторе и быстро вставить пробку с веткой в сосуд (колбу) так, чтобы нижний конец стебля не доходил до дна на 1–2 см. Взвесить всю установку с точностью до 0,01 г. Таким же образом поставить опыт со второй веткой, у которой после закрепления ее в пробке, окольцевать стебель. Для этого ниже пробки, но выше уровня жидкости, сделать два круговых надреза коры на расстоянии 1–1,5 см один от другого и снять кольцо коры до древесины (рис. 14).

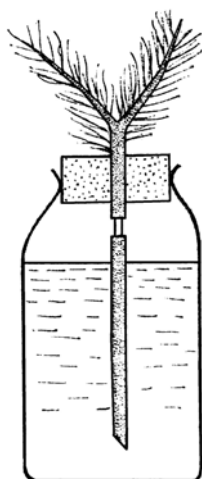


Рис. 14. Опыт по водообмену окольцованной ветки
(Викторов, 1991)

Оставить сосуды в одинаковых условиях на свету. Через 7–10 дней взвесить каждую установку, вынуть пробку с веткой и взвесить сосуд (колбу) с оставшейся в ней водой. Снять с веток хвою и взвесить ее. Полученные результаты занести в табл. 9.

Таблица 9

Водообмен ветки сосны

(Рабочая тетрадь для лабораторно-практических занятий ..., 2004)

Вариант опыта	Масса г				Количество воды, г		Масса хвои, г	Поверхность хвои, см ²	Интенсивность транспирации, г/см ²
	Сосуд с водой		Всей установки		Поглощенной	Испарившейся			
	Исходная	Через 7–10 дней	Исходная	Через 7–10 дней					
Неокольцованная ветка									
Окольцованная ветка									

Испаряющую поверхность вычислить исходя из того, что одному грамму сырой хвои сосны обыкновенной соответствует поверхность 33 см². Интенсивность транспирации вычисляется

путем деления количества испарившейся воды на площадь поверхности хвои и продолжительность опыта в часах.

Чтобы выявить по какой части стебля осуществляется передвижение воды, надо бритвой или скальпелем сделать поперечный срез и продольный разрез стеблей, включая зону кольцевания второй ветки и зарисовать участки, окрашенные эозином.

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. По какой части стебля идет восходящий ток?
2. Мешает ли кольцевание передвижению воды по стеблю?

Литература

1. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд.– Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 56–58.
2. Рабочая тетрадь для лабораторно-практических занятий по физиологии растений / авт.-сост. И. А. Третьякова. – Челябинск : Изд-во ЧГПУ, 2004. – С. 69.

6.10. Наблюдения за устьичными движениями под микроскопом

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Газообмен между межклетниками листа и наружной атмосферой регулируется устьицами. Каждое устьице состоит из двух замыкающих клеток, у которых стенки, прилегающие к устьичной щели сильно утолщены, тогда как наружные оболочки тонкие. Неодинаковая толщина наружных и внутренних стенок замыкающих клеток приводит к тому, что при изменении тургора замыкающие клетки способны искривляться или распрямляться, открывая или закрывая при этом устьичную щель.

Цель работы: проследить за движением замыкающих клеток устьиц.

Материалы и оборудование: свежие листья гортензии, тюльпана или традесканции; 1 М раствор сахарозы; 5 % раствор глицерина; лезвие безопасной бритвы; препаровальные иглы; микроскоп;

предметные и покровные стекла; стеклянные палочки; фильтровальная бумага.

ХОД РАБОТЫ

Опыт 1. Срез нижней эпидермы листа гортензии (или любого другого растения) рассмотреть в капле воды при большом увеличении микроскопа. Нанести рядом с покровным стеклом 2–3 капли 1 М раствора сахарозы, приложить с другой стороны полоску фильтровальной бумаги и сразу приступить к наблюдению за изменением ширины устьичных щелей. Зарисовать устьице в закрытом состоянии. Снова заменить 1 М раствор сахарозы водой и пронаблюдать за постепенным открытием устьиц.

Опыт 2. Приготовить срез эпидермы листа какого-либо растения, поместить в каплю 5 %-го раствора глицерина на предметное стекло, накрыть покровным и сразу начать наблюдение явления плазмолиза под микроскопом как в замыкающих клетках, так и в остальных клетках эпидермы. Устьичные щели при этом закрываются. Через некоторое время, вследствие того, что глицерин начинает проникать через цитоплазму в клеточный сок, наступает деплазмолиз и устьица открываются.

Заменить глицерин водой, для чего поместить рядом с покровным стеклом каплю воды, а с другой стороны оттянуть глицерин фильтровальной бумагой. При этом устьица открываются еще шире, чем это было в начале опыта, так как вследствие проникновения глицерина в клеточный сок значение водного потенциала в замыкающих клетках становится более отрицательным.

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. Какие физиологические механизмы лежат в основе открывания и закрывания устьиц?
2. Зависит ли число устьиц и их расположение от характера экотипа растения и как?

Литература

1. Викторov, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторov. – 2-е изд. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 50–51.

2. Ким, Е. Ф. Физиология и биохимия растений: Лабораторный практикум / Е. Ф. Ким. Горно-Алтайск : Изд-во ГАГПИ, 1997. – С. 36–43.

6.11. Наблюдения за движениями устьиц в течение дня

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Устьице – высокоспециализированное образование эпидермы растений, состоящее из двух замыкающих клеток и устьичной щели между ними. Через щель осуществляются газообмен и транспирация, необходимые для фотосинтеза и дыхания. При недостаточном водообеспечении щель закрывается благодаря понижению тургора в замыкающих клетках. С повышением тургора устьице открывается.

Измерения показали, что если устьица полностью открыты, то транспирация идет с такой же скоростью, как если бы эпидермы вовсе не существовало. При закрытых устьицах транспирация резко сокращается и фактически может осуществляться лишь через кутикулу. При равной площади сечения длинные устьица выгоднее для диффузии, чем круглые, так как выход пара происходит пропорционально периметру отверстия. Таким образом, эпидерма в высшей степени эффективно регулирует газообмен и транспирацию в широком диапазоне.

Число и распределение устьиц сильно варьируют в зависимости от вида растения и условий окружающей среды. На листьях устьица чаще всего размещены в нижней эпидерме – **гипостоматические листья**. Однако нередко устьица в равном или почти равном числе присутствуют на обеих сторонах листа, который в этом случае называют **амфистатическим**. Наконец у **эпистоматических листьев** устьица находятся в верхней эпидерме.

Клетки, примыкающие к устьицу, часто отличаются от остальных клеток эпидермы, и тогда их называют **побочными клетками устьица**. По-видимому, они участвуют в движении замыкающих клеток. Замыкающие клетки вместе с побочными образуют **устьичный аппарат**. Установлено несколько типов

устычных аппаратов. Они различаются по отсутствию или наличию побочных клеток, по их числу и расположению. Типы устьичных аппаратов устойчивы и поэтому учитываются в систематике. М. А. Баранова (1995) характеризует 13 типов устьичных аппаратов, которые встречаются в работах ботаников.

Мы остановимся на описании таких методов изучения устьичного аппарата, которые можно осуществить в любой вузовской и школьной лаборатории.

Цель работы: установить дневной ход движения устьиц, который определяется внешними условиями.

Материалы и оборудование: абсолютный спирт; петролейный эфир; ксилол; 5 % раствор хлорида кобальта; 5 % раствор глицерина; микроскоп; окуляр-микрометр; объект-микрометр; пинцет; препаровальные иглы; предметные и покровные стекла; фильтровальная бумага; тонкие пипетки; клей БФ-6; лак для ногтей; психрометр; эксикатор; стеклянные палочки; спички; секундомер; спиртовка.

ХОД РАБОТЫ

Опыт 1. Метод инфильтрации Молиша. Межклетники листа обычно заполнены воздухом, благодаря чему при рассматривании на свет, лист кажется матовым. Если произойдет инфильтрация, т. е. заполнение межклетников какой-либо жидкостью, то соответствующие участки листа становятся прозрачными.

Определение состояния устьиц методом инфильтрации основано на способности жидкостей смачивающих клеточные стенки, проникать в силу капиллярности через открытые устьичные щели в ближайшие межклетники, вытесняя из них воздух, в чем легко убедиться по появлению на листьях прозрачных пятен. По методике Молиша рекомендуется использовать в этой работе ксилол, который легко проникает через слабо открытые устьица, бензол – через устьица, открытые сильнее. Этиловый спирт способен проникать только через широко открытые устьица. Однако в связи с тем, что бензол является ядовитым органическим веществом, мы вслед за Викторовым (1991), используем в этой работе петролейный эфир, который легче других органических веществ способен проникать в устьичные щели.

Таким образом, применяя последовательно три жидкости (спирт, ксилол, петролейный эфир), можно иметь представление об относительной степени открытости устьичной щели.

На нижнюю поверхность листа отдельными пипетками наносят последовательно капли спирта, ксилола и петролейного эфира (на разные участки листа). Выдержать лист в горизонтальном положении до полного исчезновения капель, которые могут либо испариться, либо проникнуть вглубь листа.

Если устьица широко открыты, спирт легко проникает и на листе появляются прозрачные пятна, благодаря заполнению межклетников спиртом.

Если устьица открыты слабее то капля спирта, оставаясь на поверхности, быстро высыхает, не оставляя следа на листе. Ксилол проникает в лист легче спирта и поэтому дает инфильтрацию при меньшей ширине устьичных щелей.

Если не проникает и ксилол, то проба делается петролейным эфиром, который проникает через самые узкие щели.

Если устьица закрыты, то ни одна из указанных жидкостей не инфильтрует ткань листа.

Результаты наблюдений над листьями 3–4 видов растений заносят в таблицу 10. При этом наблюдения проводят через каждый час. Знаком (+) в таблице отмечают проникновение жидкости, и знаком (–) – отсутствие инфильтрации.

Таблица 10

Результаты наблюдений за состоянием устьиц

Названия растений	Часы наблюдений	Относительная влажность воздуха	Проникновение жидкости			Степень открытия устьиц		
			спирт	ксилол	петролейный эфир	широко	средне	слабо
Подорожник								
Жимолость								
Береза								
Клен								

Сделать выводы о влиянии внешних условий на устьичные движения.

Опыт 2. Определение степени раскрытия устьиц на фиксированной эпидерме (по Ллойдю). Эпидерму листа надрезают и, захватив кончик пинцетом, быстро снимают и помещают

в абсолютный спирт. Фиксированные срезы рассматривают при большом увеличении микроскопа, измеряя ширину и длину устьичной щели окуляр-микрометром. Кроме того, можно вычислить площадь устьичных щелей на единицу площади поверхности листа.

Опыт 3. Определение состояния устьиц методом отпечатков по Молотковскому. Нанести на нижнюю поверхность листа кисточкой тонкий мазок клея БФ-6 (или лака для ногтей). После полного высыхания снять пленку пинцетом, поместить на предметное стекло и рассмотреть при большом увеличении микроскопа. Вставить вместо окуляра окулярный микрометр и измерить ширину и длину устьичной щели не менее чем у десяти устьиц, вычислить средние величины.

Определить цену деления окулярного микрометра. Для этого поместить на предметный столик микроскопа объект-микрометр, каждое деление которого равно 0,01 мм, т. е. 10 мкм. Вращая окуляр, совместить обе шкалы так, чтобы ноль окулярного микрометра совпал с какой-либо линией объект-микрометра. На другом конце поля зрения также найти совпадающие линии и определить, сколько делений окулярного микрометра (A) соответствует делениям объект-микрометра (B), находящимся между совмещенными точками. Цена деления окулярного микрометра определяется по формуле:

$$\frac{B \times 10}{A}, \text{ мкм} \quad (27)$$

Умножив длину и ширину устьичных отверстий, выраженных в делениях окулярного микрометра, на цену одного деления, найти абсолютные размеры устьичных щелей. Вычислить площадь устьичной щели (S , мкм²), с некоторым приближением, принимая ее форму за ромб, по формуле:

$$S = 0,7 \times a \times b, \quad (28)$$

где a – ширина, b – длина щели.

Исследовать листья разных ярусов одного и того же растения, а также хорошо освещенных и находящихся в тени. Результаты занести в таблицу 11.

Таблица 11

Определение состояния устьиц и их размеров

(Викторов, 1991)

Растение	Ярус листа	Кол-во устьиц в поле зрения микроскопа	Цена деления окулярного микрометра	Размеры устьичных отверстий				Площадь поля зрения (мкм ²)	Площадь устьичных отверстий (% от общей поверхности листа)
				в делениях окулярного микрометра		в мкм			
				длина	ширина	длина	ширина		

Сделать выводы о влиянии ярусности и условий освещения на размеры устьичных отверстий.

Литература

1. Баранова, М. А. Классификация морфологических типов устьиц / М. А. Баранова // Ботанический журнал. – 1985. – Т. 70. – № 12. – С. 1585–1594.
2. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 51–53.
3. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 141–143.
4. Специальный практикум по физиологии и биохимии растений / Т. П. Астафурова [и др.]. – Вып. 4. – Томск : Изд-во ТГУ, 2001. – С. 30–35.

6.12. Присасывающее действие листьев (демонстрационный опыт)

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Прибор для демонстрации присасывающего действия листьев представлен на рисунке 15. Состоит он из двух трубок, которые

герметично соединены между собой. Узкая трубка имеет длину 25–30 см и диаметр примерно 0,3–0,5 см. Длина широкой трубки 15–20 см, а диаметр 2,0–2,5 см. Узкая трубка опущена в кювету с подкрашенной водой и к ней присоединена широкая трубка с побегом.

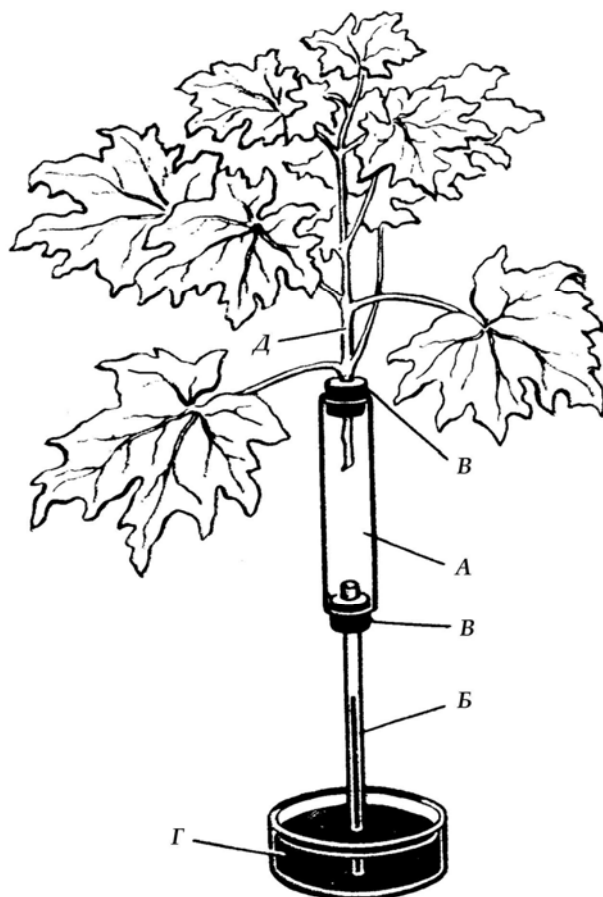


Рис. 15. Прибор для демонстрации присасывающего действия листьев (Васильева и др., 1977): А – широкая трубка, Б – узкая трубка, В – пробки, Г – сосуд с подкрашенной водой, Д – побег

Сборку прибора начинают с укрепления побега в пробке. Для этого отверстие пробки промазывают слоем лепного воска или пластилина и вставляют в него побег. Затем широкую трубку с растением переворачивают открытым концом вверх и наполняют ее до краев кипяченой холодной водой. Узкую и широкую трубки соединяют между собой при помощи пробки так, чтобы часть воды из широкой трубки вытеснилась в узкую и заполнила ее. Открытый конец трубки зажимают пальцем и, быстро переворачивая весь прибор, опускают конец узкой трубки в сосуд с под-

крашенной водой. Прибор закрепляют в штативе. По движению подкрашенной воды в трубке судят о присасывающем действии листьев. Основа успешной работы данного прибора – его герметичность.

Литература

1. Васильева, З. В. Учебно-методическое пособие по физиологии растений : для студентов-заочников IV–V курсов биолого-химических факультетов / З. В. Васильева, Г. А. Кириллова, А. В. Строчкова. – М. : Просвещение, 1977. – С.32–33.

Контрольные вопросы по теме «Водный режим растений»

1. Какие процессы составляют водный обмен растительного организма?
2. Что такое водный дефицит?
3. Почему растение расходует много воды?
4. Что такое водный баланс?
5. Почему у растений формируется большая корневая система?
6. Какие особенности строения листа влияют на транспирацию?
7. Какую роль играет транспирация в жизни растений?
8. Почему вода поступает из клеток корня в сосуды?
9. В состав букета вошли растения, живущие на влажной почве и на сухом южном склоне. Цветы каких растений быстрее повянут у Вас в руках и почему?
10. В какое время суток следует срезать цветы, чтобы они сохранились свежими долгое время, почему?
11. Почему стебли травянистых растений в жаркое время суток становятся тоньше, а вечером возвращаются к норме?
12. На нижнюю сторону листьев лещины в различные часы ясного дня наносили капли петролейного эфира, ксилола и этилового спирта. При этом наблюдалось следующее: в 5 часов утра указанные жидкости не оставили никакого следа, в 7 часов утра получались пятна от ксилола и петролейного эфира, а в 9 часов пятна дали все три жидкости, в 13 часов пятен на

листе не оказалось. Дать подробное объяснение приведенным результатам.

13. Ветка ивы была срезана с дерева, поставлена в сосуд с водой и закрыта стеклянным колпаком. Будет ли наблюдаться гуттация у этой ветки?
14. При пересадке дерева на новое место часть ветвей обрезают. Почему?
15. Когда отсаживают веточку комнатного растения, то первое время ее накрывают опрокинутым стаканом. Почему?

7. ФОТОСИНТЕЗ

7.2. Определение продуктивности фотосинтеза по количеству накопленного сухого вещества (метод половинок)

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Метод основан на том, что листовая пластинка, вследствие накопления в ней продуктов ассимиляции, приобретает больший сухой вес. Это увеличение в весе может быть учтено при помощи аналитических весов. Так как колебание воды в листе маскирует изменение в весе сухого вещества, то взвешивать необходимо лист, высушенный до постоянного веса.

Цель работы: определить продуктивность фотосинтеза у разных растений в зависимости от внешних факторов.

Материалы и оборудование: сушильный шкаф; аналитические весы; разновесы; бюксы; эксикатор; пробочные сверла диаметром 1,0–1,5 см; картон, чашки Петри; ножницы; скрепки; плотная черная бумага; листья разных растений.

ХОД РАБОТЫ

Для опыта выбирают два листа одного и того же яруса, имеющих симметричное строение. В 9 часов утра срезают контрольные половинки листьев, оставляя другие половинки (опытные) с центральными жилками на растениях. При этом половинка первого листа остается на 6 часов на свету для накопления органического вещества. Половинка второго листа на 6 часов накрывается бумажным чехлом (черным внутри и белым снаружи). Таким путем учитывается трата сухого вещества во время опыта на дыхание и отток органических веществ из листа.

Срезанные (контрольные) половинки помещают на 30 минут в чашки Петри с водой до полного насыщения. Затем их вынимают и пробочным сверлом на картоне вырезают максимальное количество целых высечек (кружков), которые помещают в отдельные бюксы, предварительно взвешенные на аналитических весах с точностью до четвертого знака и высушивают в сушильном

шкафу при температуре 100–105°C до постоянного веса не менее 4-х часов (P_1).

Через 6 часов снимают оставшиеся (опытные) половинки листьев и поступают с ними также, как и с контрольными, которые были срезаны в 9 часов утра. Вначале половинки листьев помещают в воду, через 30 минут тем же сверлом вырезают такое же число высечек (кружков), затем высушивают их до постоянного веса и определяют количество накопленного сухого вещества на единицу площади за единицу времени (P_2). Для этого измеряют диаметр сверла, определяют площадь круга и умножают на число высечек.

Разница в количестве сухой массы одинакового числа кружков ткани листа после выдерживания на свету и срезанной утром (контрольной половинки) ($P_2 - P_1$) дает накопление сухого вещества за время опыта (6 часов). Однако найденный привес не дает окончательного представления о продуктивности фотосинтеза. Для более полного определения необходимо учесть трату сухого вещества на дыхание и отток из листа. Разница в количестве сухой массы одинакового числа кружков ткани листа контрольной половинки и половинки листа, выдержанной 6 часов в темноте ($P_3 - P_4$) как раз и дает представление об убыли органического вещества на дыхание и его отток из листа в другие органы за время опыта (6 часов). Прибавив полученную убыль органического вещества за время опыта к ранее полученной прибыли органического вещества, получают продуктивность фотосинтеза в мг накопленного сухого вещества на конкретную площадь (число кружков, умноженное на площадь одного кружка).

Продуктивность фотосинтеза в г/м² за ч рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$X = \frac{[(P_2 - P_1) + (P_3 - P_4)] \times 10000}{S \times t \times 1000}, \quad (29)$$

где ($P_2 - P_1$) – количество сухого вещества, образовавшееся в освещенной половине листа; ($P_3 - P_4$) – количество сухого вещества, израсходованное на дыхание и отток в затененной половине листа; t – время экспозиции в часах; S – площадь высечек в см²; 10000 и 1000 – коэффициенты перевода на м² и г.

После проведенных расчетов сделать вывод и объяснить сущность следующих высказываний:

1. «Пища – консерв солнечных лучей».
2. «Когда мы стоим у камина с пылающим углем, мы греемся на солнышке каменноугольной эпохи».
3. «В эволюции растение прокладывало свой жизненный путь между Сциллой и Харибдой, т. е. жаждой и голодом».

Литература

1. Бухольцев, А. Н. Учебно-методическое пособие по курсу физиологии растений / А. Н. Бухольцев. – М. : Просвещение, 1986. – С. 68.
2. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 173–174.

7.2. Определение дневного хода фотосинтеза методом Л.А. Иванова и Н.А. Коссович

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Метод основан на определении количества диоксида углерода, поглощенного листом при фотосинтезе. Побег или лист помещают в круглодонную колбу и выставляют на свет на определенное время. Часть содержащегося в колбе диоксида углерода поглощается в процессе фотосинтеза. Затем связывают не поглощенный листом CO_2 , наливая в колбу некоторый избыток раствора щелочи (через отверстие в пробке), после чего оставшуюся щелочь титруют щавелевой или соляной кислотой. Проводят то же самое с контрольной колбой (без растения) и сопоставляют результаты титрования. Титр щавелевой кислоты для удобства расчета готовится таким образом, чтобы 1 мл кислоты соответствовал 1 мг CO_2 (2,8636 г кислоты на 1 л воды).

Цель работы: определить у разных растений интенсивность фотосинтеза по количеству поглощенной углекислоты в течение дня.

Материалы и оборудование: круглодонная колба на 1–3 л; веточка или лист любого растения; раствор щелочи (7–8 г $\text{Ba}(\text{OH})_2$ на 1 л воды); раствор щавелевой кислоты; фенолфталеин; ножницы; нитки; миллиметровая бумага; бюретки; пипетки; термометр; пластилин; металлический стержень с резиновыми пробками.

ХОД РАБОТЫ

Готовят прибор для учета поглощения CO_2 в процессе фотосинтеза. Берут круглодонную стеклянную колбу емкостью 1–3 л с тубусом сбоку. В эту колбу вставляют стержень, который закрепляется при помощи двух резиновых пробок (внутренней и наружной). В тубус колбы сбоку вставляют термометр (рис. 16).

Лист опытного растения (предварительно подрезанного под водой) за черешок закрепляют на стержне между двумя резиновыми пробками (привязывают ниткой). Затем стержень вводят внутрь колбы так, чтобы горло колбы при этом закрылось наружной пробкой. В боковое отверстие колбы вставляют термометр. Собранный таким образом прибор закрепляют в штативе и выставляют на 15–20 минут на открытом месте вне лаборатории на свет. Лист при этом должен быть обращен к солнечным лучам. Необходимо следить за температурой. В случае перегрева колбу необходимо охладить водой. После экспозиции лист быстро и осторожно извлекают из колбы, путем вытягивания из колбы стержня. Горло колбы у основания при этом закрывается внутренней пробкой, закрепленной на конце металлического стержня. Из тубуса сбоку колбы извлечь термометр и через это отверстие влить 20 мл барита и 2–3 капли фенолфталеина, плотно закрыть пробкой. Горло колбы при этом также должно быть закрыто. Колбу со щелочью встряхивают 5–10 минут, для того чтобы полностью поглотился оставшийся в ней CO_2 . Затем щелочь титруют щавелевой кислотой через боковое отверстие в колбе.

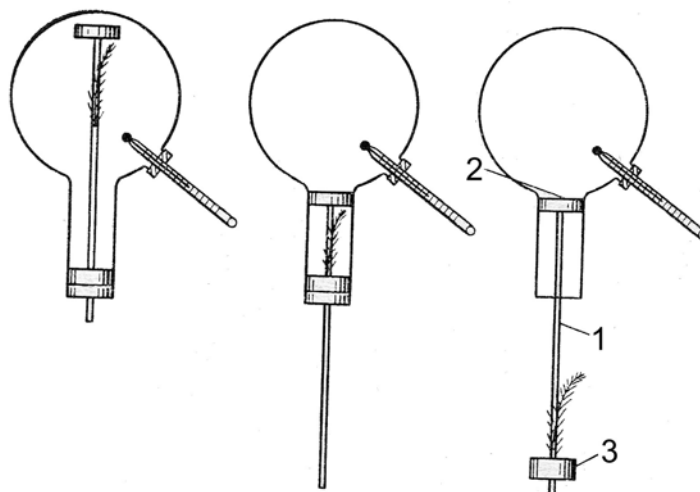


Рис. 16. Прибор Л.А. Иванова и Н.Л. Коссович для определения интенсивности фотосинтеза (Летние практические занятия по физиологии растений, 1973):

1 – стержень с листом, 2 – внутренняя пробка, 3 – наружная пробка

Параллельно ставят контрольный вариант с колбой такого же объема, но без листа, в которой учитывается общее количество углекислого газа, находившегося в воздухе до опыта. Для этого колбу с открытым горлом и боковым отверстием, направленным вперед, раскачивают в правой руке, наполняя ее воздухом. После этого горло колбы закрывают пробкой и далее поступают как же, как и с опытной колбой.

По разнице в числе миллилитров щавелевой кислоты, пошедшей на второе и первое титрование, определяют количество поглощенного углекислого газа за время опыта.

Титр щавелевой кислоты приготовлен таким образом, что 1 мл кислоты соответствует 1 мг CO_2 (2,8636 г щавелевой кислоты в 1 л H_2O) Далее необходимо определить площадь листа. Для этого берут бумагу, лучше миллиметровую, вырезают из нее квадрат площадью 100 cm^2 и взвешивают его на аналитических весах. Лист помещают на такую же бумагу, обводят контур листа тонко отточенным карандашом. Вырезают контур листа и взвешивают его. Зная массу 100 cm^2 бумажной площади и массу неизвестной площади, находят искомую площадь по формуле (22), стр. 95.

Зная количество мг CO_2 , поглощенного листом данной площади за время опыта, производят окончательный расчет поглощенного газа 1 дм^2 листовой поверхности за 1 час.

Конечный расчет поглощенного углекислого газа на 1 дм^2 за час рекомендуется произвести по формуле:

$$X = \frac{(B - A) \times 60 \times 100}{S_1 \times t}, \quad (30)$$

где A – количество мл кислоты, пошедшее на титрование до опыта; B – количество мл кислоты, пошедшее на титрование после опыта; $(B - A)$ – разница в мл кислоты при титровании; S_1 – площадь листа в см^2 ; t – продолжительность опыта в минутах; 60 и 100 – цифры для перевода интенсивности фотосинтеза на 1 дм^2 и 1 час.

Во время опыта необходимо зафиксировать следующие условия, при которых шел опыт: интенсивность освещения в люксах при помощи люксметра, влажность воздуха, температуру воздуха.

Сделать вывод и ответить на вопросы:

1. Входит ли процесс связывания CO_2 в число фотохимических реакций фотосинтеза?
2. За 20 мин побег, площадь листьев которого равна 240 см^2 , поглотил 16 мг CO_2 . Определить интенсивность фотосинтеза.

Литература

1. Васильева, З. В. Учебно-методическое пособие по физиологии растений : для студентов-заочников IV–V курсов биолого-химических факультетов / З. В. Васильева, Г. А. Кириллова, А. В. Строчкова. – М. : Просвещение, 1977. – С. 45–46.
2. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 77–79.
3. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 174–178.

7.3. Получение отпечатков на листьях с помощью крахмальной пробы

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Наиболее простой метод обнаружения фотосинтеза – крахмальная проба, которая заключается в том, что лист, выдержанный на свету, обесцвечивается спиртом, а затем обрабатывается раствором йода, окрашивающего образовавшийся в хлоропластах крахмал в темно-синий цвет. Опыт рекомендуется проводить со срезанными и поставленными в воду листьями, у которых крахмал накапливается быстрее, так как отток отсутствует.

Для наблюдения за процессом образования первичного крахмала необходимо, чтобы вначале опыта листья не содержали этого вещества. Обескрахмаливания листьев можно достичь, выдерживая их в течение 3–4-х дней в темноте; за это время весь имеющийся в листьях крахмал превратится в сахара, которые будут частично отведены в стебель, а частично израсходованы на дыхание клеток листа.

Цель работы: отработать постановку опытов, доказывающих образование крахмала в листьях на свету.

Материалы и оборудование: этанол; раствор йода в йодиде калия; водяная баня; электроплитка; коническая колба (или большая пробирка); тарелка; лампа на 200 Вт; темная бумага; канцелярский скотч; трафареты с вырезанными фигурами; пинцет; растения: пеларгония; примула; подсолнечник, одуванчик.

ХОД РАБОТЫ

Для подготовки листьев к опыту необходимо поместить их в темноту, чтобы произошел отток крахмала из клеток листа. Комнатные растения переносят в темный шкаф (не забывая о поливе), а у грунтовых растений на тот же срок листья закрывают плотной черной бумагой с обеих сторон, закрепляя скотчем.

В жаркий солнечный день бумагу следует заменить фольгой, отражающей свет и препятствующей перегреву листа.

Через трое–четверо суток бумагу заменяют трафаретом с вырезанным отверстием или какой-либо фигурой. Трафарет делают из сложенного вдвое листа плотной черной бумаги или

фольги (рис. 17), который накладывают на лист и осторожно прикрепляют.

Вместо бумажного трафарета на верхнюю сторону листа можно поместить четкий фотографический негатив, тогда с нижней стороны лист тщательно закрывают черной бумагой. Экспозиция на свету может длиться от 2 до 8 ч (в зависимости от вида растения и интенсивности освещения).

По окончании экспозиции на свету листья срезают, снимают с них трафарет, погружают на 2–3 мин в кипяток, чтобы убить клетки, а затем в горячий спирт для извлечения пигментов. Для этого колбу (или пробирку) со спиртом и листьями помещают в водяную баню с кипящей водой и выдерживают в горячем спирте до полного извлечения пигментов из листьев и их обесцвечивания.

В спирте происходит сильное обезвоживание листа, он становится жестким и легко ломается. Поэтому спирт сливают, а в колбу наливают воду, лист становится мягким. После этого его переносят в кювету или тарелку с раствором йода в йодиде калия. Постепенно на освещенных участках листа появляется темная фигура, соответствующая трафарету (см. рис. 17 положение 3). Если на листьях получены четкие отпечатки, их можно сохранить на длительный срок. Для этого берут два стекла, которые по размерам больше листа. Одно стекло подводят под лист, лежащий в растворе йода в йодиде калия и расправляют его.

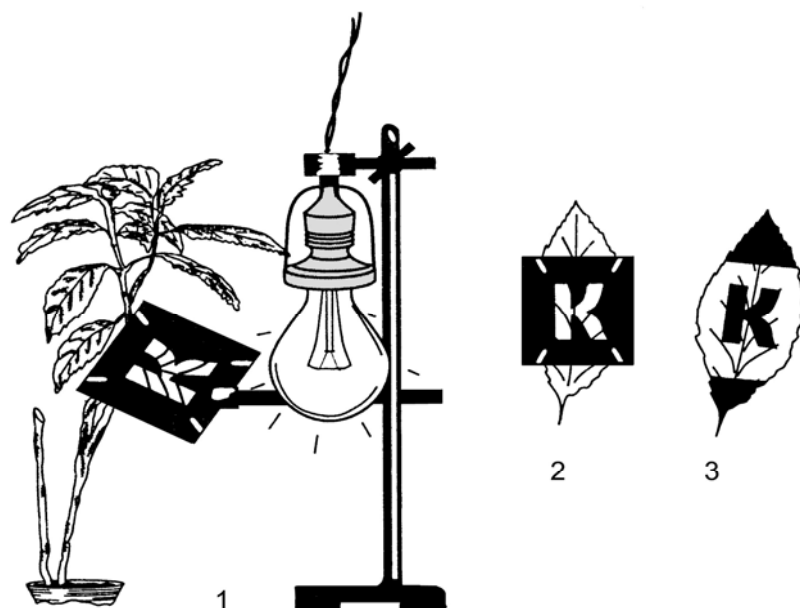


Рис. 17. Получение отпечатков на листьях с помощью крахмальной пробы (Практикум по физиологии растений, 2001): 1 – освещенное растение, 2 – лист, закрытый трафаретом, 3 – отпечаток (крахмальная проба) на листе

По краям стекла с двух сторон укладывают по тонкой лучинке. Сверху накрывают вторым стеклом и оба стекла скрепляют между собой. Лист оказывается в камере между двумя стеклами. В таком виде его опускают в банку с раствором йода в йодиде калия, которую плотно закрывают крышкой. Препарат хранят в темном месте, так как на свету йод и отпечаток на листе быстро обесцвечивается. Время от времени раствор йода заменяют свежим. Если при длительном хранении отпечаток обесцветился, выбрасывать его не следует. Новый раствор йода восстанавливает изображение.

Следует заметить, что у разных растений процесс расходования крахмала длится 24–120 часов. Так, например, листья фасоли, настурции, периллы полностью обескрахмаливаются лишь в течение 96 ч, а в листьях примулы крахмал частично остается и после этого срока. У подсолнечника обескрахмаливание происходит за 24 ч, а у герани, сои, табака и сахалинской гречихи через 72 ч.

Критерием выбора объекта для этой работы может быть сравнительно короткий срок исчезновения крахмала при затене-

нии, быстрая и легкая экстракция пигментов и прочность листьев, обеспечивающая их длительное хранение.

Использование для описанного выше опыта комнатного растения колеус, у которого на листе имеются помимо зеленых участков белые и окрашенные антоцианом, будет его выгодно отличать.

Лист колеуса закрывают полоской черной бумаги и растение помещают под лампу. Спустя 48 ч лист срезают и выполняют процедуры, описанные выше. Затемненный участок листа, а также белые участки остаются обесцвеченными, а зеленые, освещенные светом, дают темно-синюю окраску, свидетельствующую о наличии крахмала. Опытный лист с отпечатком сравнивают с живым листом на растении.

Сделать выводы по работе и ответить на вопросы:

1. Какие вещества, образуются на фотохимическом этапе фотосинтеза?
2. Каковы продукты темновой фазы фотосинтеза?
3. Чем отличаются светолюбивые растения от световыносливых?

Литература

1. Бухольцев, А. Н. Учебно-методическое пособие по курсу физиологии растений / А. Н. Бухольцев. – М. : Просвещение, 1986. – С. 33–39.
2. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд.– Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 75–77.
3. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для студ. высш. пед. учеб. заведений / И. В. Плотникова [и др.] ; под ред. В. Б. Иванова. – М. : Академия, 2001. – С. 47–49.

7.4. Накопление первичного (ассимиляционного) крахмала в клетках листьев C_3 и C_4 -растений

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Растения, у которых первый стабильный продукт фотосинтеза представлен трехуглеродной фосфоглицериновой кислотой (ФГК), принято называть C_3 -растениями. Синтез сахаров в фотосинтезе осуществляется у них в цепи реакций, образующих цикл Кальвина. У C_3 -растений во всех фотосинтезирующих клетках функционирует цикл Кальвина и поэтому во всех клетках листа образуется крахмал. У C_4 -растений первичная ассимиляция CO_2 осуществляется в цикле Хетча и Слэка в клетках мезофилла листа. Первыми продуктами этого цикла являются четырехуглеродные органические кислоты, поэтому такие растения принято называть C_4 -растениями. Цикл Кальвина функционирует у них только в клетках обкладки проводящих пучков листа. Поэтому крахмал образуется только в этих клетках, но не в клетках мезофилла.

Цель работы: на срезах листовых пластинок выявить клетки, в которых у C_3 и C_4 -растений находятся хлоропласты, накапливающие крахмал.

Материалы и оборудование: микроскопы; предметные и покровные стекла; лезвия бритвы; стакан с водой; препаровальные иглы; стеклянные палочки; фильтровальная бумага; раствор Люголя; 30 % раствор NaOH или KOH; растения: листья кукурузы и пшеницы, зафиксированные в ясный день в 70 % этаноле.

ХОД РАБОТЫ

Продольные и поперечные срезы листьев кукурузы и C_3 -растений (хлорофитума, традесканции и др.) делают острым лезвием безопасной бритвы. Для получения поперечных срезов используют кусочки бузины или пенопласта. Срезы помещают на предметное стекло в каплю 30 %-го раствора щелочи для просветления. Через 10–15 мин, а если позволяет время, то и более (до 1,5 ч), щелочь оттягивают фильтровальной бумагой, промывают водой и добавляют каплю раствора Люголя. Затем срезы накрывают покровным стеклом и исследуют под микроскопом сначала при малом увеличении, а затем при большом.

Изучая срезы, обращают внимание на локализацию крахмала в клетках листа. У кукурузы крахмал локализуется в клетках обкладки проводящих пучков и в клетках устьиц. В остальных клетках мезофилла, расположенных между жилками, крахмала нет. Поэтому на продольном срезе проводящие пучки с обкладкой четко выделяются как темные полосы, а на поперечном срезе клетки обкладки выглядят в виде темной короны (так называемая «kranz»-анатомия), окружающей неокрашенные ткани ксилемы и флоэмы.

В листьях C_3 -растений крахмал находится во всех клетках мезофилла, а также в замыкающих клетках устьиц. Неокрашенными остаются только клетки эпидермы и сосудистые пучки. Зарисовать исследуемые препараты.

Сделать выводы и ответить на вопросы:

1. В чем сущность темновой фазы фотосинтеза?
2. Какие этапы включает цикл Кальвина?
3. Какое вещество является акцептором CO_2 в цикле Кальвина?
4. Как происходит восстановление CO_2 у C_4 -растений?
5. Какое вещество является акцептором CO_2 у C_4 -растений?

Литература

1. Кузнецов, В. В. Физиология растений : учеб. для вузов / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Высшая школа, 2005. – С. 232–253.
2. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для студ. высш. пед. учеб. заведений / И. В. Плотникова [и др.] ; под ред. В. Б. Иванова. – М. : Академия, 2001. – С. 51–52.

7.5. Влияние внешних условий на интенсивность фотосинтеза водного растения

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ

Для определения интенсивности фотосинтеза водных растений можно использовать метод подсчета пузырьков кислорода. На свету в листьях происходит фотосинтез, продуктом которого является кислород, накапливающийся в межклетниках. При сре-

зании стебля избыток газа начинает выделяться с поверхности среза в виде непрерывного тока пузырьков, быстрота образования которых зависит от интенсивности фотосинтеза. Данный метод не отличается большой точностью, но зато очень прост и дает наглядное представление о тесной зависимости процесса фотосинтеза от внешних условий.

Цель работы: выявить влияние внешних условий на интенсивность фотосинтеза.

Материалы и оборудование: элодея; валлиснерия; двууглекислая сода; пробирки; ножницы; секундомер; стеклянные банки (0,5 л); дистиллированная вода; 4 %-ый раствор медного купороса; аммиак; 1 %-ый раствор двухромовокислого калия ($K_2Cr_2O_7$).

ХОД РАБОТЫ

Помесить веточку элодеи с неповрежденной верхушечной почкой в кювету с водой и обновить срез острой бритвой для удаления возможной закупорки путей при выходе газа. Погрузить веточку срезом вверх в пробирку с водой, предварительно обогащенной питьевой содой не более 0,5 %. Поместив пробирку с веточкой элодеи в те или иные условия, подождать, пока установится равномерный ток пузырьков. Используя в качестве источника света настольную лампу мощностью 200 Вт, провести следующие опыты:

Опыт 1. Влияние освещенности на интенсивность фотосинтеза. Пробирку с веточкой помещают во внешний цилиндр со стоком внизу с температурой воды 27°C. Слой воды служит тепловым фильтром. (Рис. 18). Из свежесрезанного побега, помещенного на свет, начинают выделяться пузырьки газа – происходит фотосинтез. Когда пузырьки начнут выделяться равномерно, надо убедиться в том, что при затенении пробирки с веточкой ток пузырьков останавливается, а при ее освещении продолжается. Затем следует проследить, как влияет интенсивность света на фотосинтез. При этом веточку элодеи помещают на расстоянии 20, 40, 80, 100 см от источника освещения. Мерилем интенсивности фотосинтеза служит количество пузырьков, выделяющихся за 1 мин. Счет пузырьков продолжается в течение 3 мин. Для каждого расстояния берут среднее из трех отсчетов. Сравнение числа

пузырьков при разных условиях освещения и при разной концентрации CO_2 следует проводить на одном и том же объекте (веточке), так как величина пузырьков, от которой зависит скорость их выделения, определяется величиной перерезанных межклетников. У разных веточек эти величины будут разными. В задачу входит: подсчитать среднее число пузырьков, которые выделяются за 1 мин из одной и той же веточки при установке ее на разное расстояние от лампы.

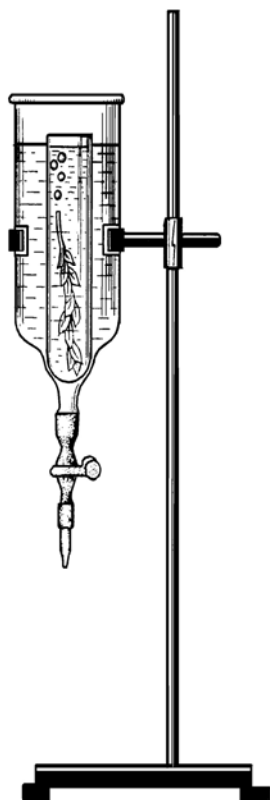


Рис. 18. Установка для учета фотосинтеза методом счета пузырьков (Викторов, 1983)

Опыт 2. Влияние спектрального состава света на интенсивность фотосинтеза.

Подсчитать количество пузырьков при освещении белым светом (пробирка погружена в сосуд с водой). Затем провести наблюдение при красном экране, заменяя воду в наружном сосуде раствором $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, который пропускает красные, оранжевые и желтые лучи и не пропускает сине-фиолетовые. После этого определить интенсивность фотосинтеза при синем экране, нали-

вая в наружный сосуд раствор серно-аммиачно-медной соли, пропускающей голубые, синие и фиолетовые лучи, но задерживающий длинноволновую часть спектра. Все три наблюдения провести с жидкостями одинаковой температуры (25°C) и на одном и том же расстоянии от источника света.

Вместо жидких экранов можно использовать стеклянные светофильтры, пропускающие лучи определенной длины волны.

По результатам опыта сделать вывод о влиянии разных участков спектра на интенсивность фотосинтеза.

Опыт 3. Влияние температуры на интенсивность фотосинтеза. При изучении влияния температуры на процесс фотосинтеза применяют ту же методику, что и в предыдущих работах, с той лишь разницей, что в наружный сосуд (цилиндр) наливают вместо цветных растворов воду различной температуры. Наблюдения производят на одном и том же расстоянии от источника света. Порядок наблюдения: низкая (5°C) температура, комнатная (18°C) и оптимальная температура (25°C). Сравнивая количество пузырьков, выделенных за 1 мин определяют, при какой температуре ассимиляция идет быстрее.

Сделать выводы о влиянии внешних факторов на интенсивность фотосинтеза и ответить на вопросы:

1. В каких единицах измеряется интенсивность фотосинтеза?
2. Какую роль играет свет в фотосинтезе?
3. Как влияет спектральный состав света на химический состав ассимилятов?
4. Как зависит интенсивность фотосинтеза от концентрации CO₂?
5. Как влияет на фотосинтез концентрация кислорода?

Литература

1. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд.– Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – С. 80–82.

2. Кузнецов, В. В. Физиология растений : учеб. для вузов / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Высшая школа, 2005. – С. 254–274.
3. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – С. 183–187.
4. Якушкина, Н. И. Физиология растений : учеб. для студ. вузов, обучающихся по специальности 032400 «Биология» / Н. И. Якушкина, Е. Ю. Бахтенко. – М. : ВЛАДОС, 2005. – С. 181–191.

**Контрольные вопросы и задания
по теме «Фотосинтез»**

1. Как доказать с помощью метода крахмальной пробы необходимость света для фотосинтеза?
2. Как поставить опыт, доказывающий необходимость CO₂ для фотосинтеза?
3. Какую роль играет вода в фотосинтезе?
4. Чем объясняется снижение интенсивности фотосинтеза в полдень?
5. По каким путям идет ближний транспорт?
6. Как осуществляется загрузка флоэмных окончаний?
7. С какой скоростью идет дальний транспорт?
8. Два одинаковых листа в течение двух суток были закрыты светонепроницаемыми чехлами, а затем освещены: первый лист – красным, а второй – желтым светом одинаковой интенсивности. У какого листа более высокое содержание крахмала? С чем это связано?
9. Веточка элодеи была погружена в воду и освещена сначала красным, а затем синим светом такой же интенсивности. В каких лучах будут быстрее выделяться пузырьки O₂? Как это объяснить?
10. В отличие от большинства растений у суккулентов устьица днем закрыты, а ночью открываются. Как протекает у них фотосинтез?

11. Каковы причины гибели многих лесных трав (кислицы, недотроги и др.) после вырубки леса?
12. Сколько органического вещества вырабатывает дерево за 15 минут, если известно, что интенсивность фотосинтеза равна $20 \text{ мг/дм}^2 \cdot \text{ч}$, а площадь листьев – $2,5 \text{ м}^2$?
13. Докажите уравнением химической реакции, что в процессе фотосинтеза используется и образуется вода.
14. За 20 минут побег, площадь листьев которого равна 240 см^2 поглотил 16 мг CO_2 . Вычислить интенсивность фотосинтеза.
15. При помощи, какой реакции можно доказать, что хлорофилл является сложным эфиром? Написать уравнение химической реакции.
16. Закончите предложение: В процессе фотодыхания принимают участия следующие органоиды клетки...

***Примерные темы самостоятельных исследований студентов
в период летней полевой практики***

1. Транспирация и ее зависимость от внешних факторов в условиях полевого опыта.
2. Роль макроэлементов (NPK) в жизни растений на серой лесной почве агробиостанции ТГПУ.
3. Роль микроэлементов (Mn, B, Mo) при выращивании гороха на серой лесной почве агробиостанции ТГПУ.
4. Эффективность разных штаммов клубеньковых бактерий гороха в условиях вегетационного опыта.
5. Ризоторфин, его производство и эффективность.
6. Физиолого-биохимические свойства клубеньковых бактерий.
7. Свободноживущие азотфиксаторы и их роль в природе.
8. Транспорт воды в корне. Корневое давление.
9. Транспорт воды в листе и его движущие силы.
10. Эксперимент по теме «Фотосинтез» в школьном курсе биологии.
11. Эксперимент по теме «Водный режим растений» в школьном курсе биологии.
12. опыты по теме «Движение растений» в школьном курсе биологии.
13. опыты по теме «Покой семян и способы его прерывания» в школьном курсе биологии.
14. опыты по теме «Дыхание растений».
15. Распространение клубеньковых бактерий гороха в разных типах почв Томской области.

Литература

1. Баранова, М. А. Классификация морфологических типов устьиц / М. А. Баранова // Ботанический журнал. – 1985. – Т. 70. – № 12. – С. 1585–1594.
2. Бухольцев, А. Н. Учебно-методическое пособие по курсу физиологии растений / А. Н. Бухольцев. – М. : Просвещение, 1986. – 80 с.

3. Васильева, З. В. Учебно-методическое пособие по физиологии растений : для студентов-заочников IV–V курсов биолого-химических факультетов / З. В. Васильева, Г. А. Кириллова, А. В. Строчкова. – М. : Просвещение, 1977. – 79 с.
4. Викторов, Д. П. Практикум по физиологии растений / Д. П. Викторов. – 2-е изд. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 1991. – 160 с.
5. Гедройц, К. К. Избранные сочинения. В 3-х томах. Т. 3. Применение удобрений. Мелиорация почв и вегетационные опыты / К. К. Гедройц ; под общ. ред. Н. П. Ремезова. – М. : Сельхозгиз, 1955. – 560 с.
6. Голубев, Б. А. Питание растений и удобрения / Б. А. Голубев. – М. Сельхозгиз, 1947. – 65 с.
7. Доспехов, Б. А. Методика опытной работы в школе : пособие для учителей сельск. школы / Б. А. Доспехов, Г. И. Гордиенко. – Изд 2-е., перераб. и доп. – М. : Просвещение, 1975. – 127 с.
8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1985. – 356 с.
9. Журбицкий, З. И. Теория и практика вегетационного метода / З. И. Журбицкий. – М. : Наука, 1968. – 260 с.
10. Ким, Е. Ф. Физиология и биохимия растений : Лабораторный практикум / Е. Ф. Ким. – Горно-Алтайск : Изд-во ГАГПИ, 1997. – 60 с.
11. Кузнецов, В. В. Физиология растений : учеб. для вузов / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М. : Высшая школа, 2005. – 736 с.
12. Летние практические занятия по физиологии растений. (Полевая практика) : пособие для студ. пед. вузов / Ф. Д. Сказкин [и др.] ; под ред. к.б.н. М. С. Миллер. – 3-е изд., перераб. – М. : Просвещение, 1973. – 208 с.
13. Методика физиологических исследований в овощеводстве и бахчеводстве / под ред. В. Ф. Белика. – М. : ВАСХНИЛ, 1970. – 211 с.
14. Методические указания по организации агрохимических обследований и проведение анализа в овощеводстве защищенного грунта. – М. : ЦИНАО, 1973. – 40 с.

15. Методические указания по учебно-производственной практике / под ред. Л. С. Белозорова. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1988. – 55 с.
16. Методика полевого опыта / П. Г. Найдин [и др.] ; под ред. П. Г. Найдина. – М. : Сельхозгиз, 1959. – 200 с.
17. Петухов, М. П. Агрохимия и система удобрений / М. П. Петухов, Е. А. Панова, Н. Х. Дудина. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.
18. Практикум по физиологии растений / Ф. Д. Сказкин [и др.]. – М. : Советская наука, 1958. – 339 с.
19. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для высш. с.-х. учеб. заведений / под ред. Н. Н. Третьякова. – М. : Колос, 1982. – 271 с.
20. Практикум по физиологии растений : учеб. пос. для студ. высш. пед. учеб. заведений / И. В. Плотникова [и др.] ; под ред. В. Б. Иванова. – М. : Академия, 2001. – 144 с.
21. Практикум по физиологии растений / под ред. И. И. Гунара. – М. : Колос, 1972. – 168 с.
22. Прянишников, Д. Н. Избранные сочинения. В 3-х томах. Т. 2. / Д. Н. Прянишников. – М. : Изд-во АН СССР, 1953. – 492 с.
23. Рабочая тетрадь для лабораторно-практических занятий по физиологии растений / авт.-сост. И. А. Третьякова. – Челябинск : Изд-во ЧГПУ, 2004. – 134 с.
24. Радов, А. С. Практикум по агрохимии / А. С. Радов, И. В. Пустовой, А. В. Корольков. – М. : Агропромиздат, 1985. – 312 с.
25. Савичева, О. Г. Комплексная переработка торфа. Вегетационный опыт : задачи, методика, обработка результатов / О. Г. Савичева. – Томск : Изд-во ТГПУ, 2006. – 83 с.
26. Соколов, А. В. Вегетационный метод // Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами / А. В. Соколов. – М. : Наука, 1967. – С. 104–124.
27. Специальный практикум по физиологии и биохимии растений / Т. П. Астафурова [и др.]. – Вып. 4. – Томск : Изд-во ТГУ, 2001. – 53 с.
28. Справочная книга по химизации сельского хозяйства / под ред. В. М. Борисова. – 2-е изд., доп. и перераб. – М. : Колос, 1980. – 560 с.

29. Тимирязев, К. А. Избранные сочинения. Т. 1 / К. А. Тимирязев. – М. : Сельхозгиз, 1948. – С. 391 – 392.
30. Удобрение овощных культур : справочное руководство / Г. Г. Вендило [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1986. – 206 с.
31. Церлинг, В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур : Справочник / В. В. Церлинг. – М. : Агропромиздат, 1990. – 235 с.
32. Цыгуткин, А. С. Классификация и терминология вегетационного опыта / А. С. Цыгуткин, И. И. Прохорова // Агрехимический вестник. – 2003. – № 1. – С. 30–32.
33. Шабельская, Э. Ф. Лабораторные занятия по физиологии растений : учеб. пособ. для пед. ин-тов по биол. спец. / Э. Ф. Шабельская. – Минск : Высш. школа, 1981. – 142 с.
34. Щерба, С. В. Методика полевого опыта с удобрениями // Методика полевых и вегетационных опытов с удобрениями и гербицидами / С. В. Щерба. – М. : Наука, 1967. – С. 3 – 69.
35. Якушкина, Н. И. Физиология растений : учеб. для студ. вузов, обучающихся по специальности 032400 «Биология» / Н. И. Якушкина, Е. Ю. Бахтенко. – М. : ВЛАДОС, 2005. – 464 с.

Приложение 1

Атомные массы некоторых элементов (Викторов, 1991)

Название элементов	Символ	Атомная масса	Название элементов	Символ	Атомная масса
Азот	N	14,01	Медь	Cu	63,54
Барий	Ba	137,36	Молибден	Mo	95,95
Бор	B	10,82	Натрий	Na	22,99
Водород	H	1,008	Олово	Sn	118,70
Железо	Fe	55,85	Ртуть	Hg	200,61
Йод	J	126,91	Сера	S	32,07
Калий	K	39,10	Серебро	Ag	107,88
Кальций	Ca	40,08	Углерод	C	12,01
Кислород	O	16,00	Фосфор	P	30,98
Кобальт	Co	58,94	Хлор	Cl	35,46
Магний	Mg	24,32	Хром	Cr	52,01
Марганец	Mn	54,94	Цинк	Zn	65,38

Приложение 2

Дозы удобрений (г питательного вещества на 1 кг сухой почвы) (Петухов и др., 1985)

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Зерновые	0,15	0,10	0,10
Бобовые	0,10 – 0,15	0,10 – 0,15	0,10 – 0,15
Картофель	0,12	0,20	0,28
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
Лук	0,10 – 0,15	0,10 – 0,15	0,15 – 0,20

Приложение 3

Схема совместимости удобрений

(Удобрение овощных культур, 1986)

Удобрение	Сульфат аммония	Аммофос, диаммофос	Нитрофоска, аммиачная селитра	Мочевина	Суперфосфаты	Фосфоритная мука	Хлористый калий, сульфат калия, калийная соль	Известь, зола	Навоз, помет
1. Сульфат аммония	++	++	++	++	+	+	++	-	-
2. Аммофос, диаммофос	++	++	++	++	+	+	++	-	-
3. Нитрофоска, аммиачная селитра	++	++	++	+	+	+	+	-	-
4. Мочевина	++	++	+	++	+	+	++	+	+
5. Суперфосфаты	+	+	+	+	++	+	+	-	++
6. Фосфоритная мука	+	+	+	+	+	++	+	-	++
7. Хлористый калий, сульфат калия, калийная соль	++	++	+	+	+	+	++	+	++
8. Известь, зола	-	-	-	+	-	-	+	-	-
9. Навоз, помет	--	-	-	+	++	++	++	-	-

Примечание: ++ смешивать можно; + смешивать только перед внесением; - смешивать нельзя.

Приложение 4

Примерные годовые дозы удобрений под овощные культуры на окультуренных низинных торфяниках, кг/га

(Справочная книга по химизации, 1980)

Культура	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Капуста	30–60	45–60	180–270
Свекла	0–45	45–60	120–180
Морковь	0–45	45–60	120–180
Лук на зелень	30–45	45–60	100–150
Зеленые овощи	0–60	45–60	100–220

Приложение 5

Коэффициенты использования питательных веществ минеральных удобрений различными культурами, % (Радов и др, 1985)

Культура	Минеральные удобрения		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Овощные	60	25	80
Картофель	95	10	50
Капуста белокочанная	40–50	15–20	60–70

Приложение 6

Приготовление некоторых растворов и реактивов

Раствор йода в йодиде калия (J в KJ). Растворить 2 г KJ в 5 мл дистиллированной воды, добавить 1 г металлического йода, после полного растворения последнего долить 295 мл воды. Хранить реактив в темной склянке с притертой пробкой (Практикум по физиологии растений, 2001).

Раствор барита 0,025 н. Для приготовления 1 л этого раствора требуется 2,14 г чистого Ba(OH)₂. Однако обычно в реактиве содержится значительная примесь BaCO₃, вследствие чего рекомендуется брать навеску примерно в 1,5 раза больше, т. е. 3,5 г. Прокипятить дистиллированную воду в течение длительного времени (не менее 30 мин) для удаления растворенного CO₂. Высыпать навеску Ba(OH)₂ в горячую воду и взболтать. После охлаждения перелить раствор в плотно закрывающуюся склянку и оставить на несколько суток, время от времени взбалтывая раствор. После отстаивания осторожно слить сифоном прозрачный раствор в бутылку, соединенную с бюреткой. Закрывать бутылку пробкой, в которую вставлена трубка с натронной известью.

Баритовая вода. На 1 л раствора берут 7 – 10 г Ba(OH)₂. Растворяют его в 100 мл дистиллированной воды (при слабом нагревании). Затем быстро и плотно закупоривают сосуд и в течение 10–15 мин взбалтывают. Процедуру повторяют 10–15 раз в продолжение суток. Затем, когда раствор отстоится, через сифон осторожно переливают его в бутылку (лучше такого же объема). Сифонные трубки должны быть плотно вставлены в пробки бутылок, иначе при соприкосновении с углекислотой воздуха раствор будет мутнеть.

Хлоркобальтовая бумага. Приготовить 5 % раствор хлорида кобальта и погрузить в него на несколько минут полоски (по размеру предметного стекла) белой фильтровальной бумаги размером 8x10 см. Просушить розовую бумагу между листами сухой фильтровальной бумаги, а затем в сушильном шкафу при 45–50°C до появления яркого-голубого цвета (при более высокой температуре бумага теряет гигроскопичность). Хранить в эксикаторе с CaCl₂.

Фенолфталеин. 0,5 г фенолфталеина растворить в 100 мл 96° этилового спирта. Индикатор изменяет окраску от бесцветной к малиновой в пределах pH 8,2–10,0.

Вода без CO₂. Дистиллированную воду прокипятить не менее 30 мин для удаления растворенного CO₂. Перелить в склянку с плотно закрывающейся крышкой. Закрыть и охладить.

Спирт абсолютный. Обычный этиловый спирт – ректификат, имеет крепость 96 %. Некоторые опыты проводят с абсолютным спиртом. Для его получения небольшое количество CuSO₄·5H₂O, тщательно растирают в ступке и прокаливают в фарфоровом тигле до полного перехода синей окраски порошка в белую, что указывает на обезвоживание медного купороса. После остывания тигля (в эксикаторе) обезвоженный сульфид меди высыпают в склянку со спиртом и плотно закрывают пробкой.

Растения для опытов.

1. Семена пшеницы, ржи, ячменя, гороха, подсолнечника, фасоли и т. д.
2. Корнеплоды: свеклы, моркови, репы; клубни картофеля; луковицы репчатого лука.
3. Водные растения: элодея, валлиснерия, хара и др.
4. Комнатные растения: хлорофитум, традесканция, колеус, герань, фуксия, гортензия, кливия, бегония и др.

Приложение 7

Форма записи фенологических наблюдений над культурой пшеницы

(Летние практические занятия по физиологии растений, 1973)

Варианты	Повторность	Всходы		Развитие 3-го листа		Кущение		Выход в трубку	Колошение	Цветение		Спелость		
		начало	полное	начало	полное	начало	полное			начало	полное	молочная	желтая	восковая

Приложение 8

Форма записи результатов опыта с водной культурой томата

Варианты	Высота стебля, см			Прирост стебля в высоту, см		Корневая система			Надземная часть		Примечание (окраска листьев, наличие пятен и т. д.)
	19 мая	26 мая	1 июня	19-26 мая	26 мая – 1 июня	Объем, см	Сырой вес, г	Сухой вес, г	Сырой вес, г	Сухой вес, г	

Учебное издание

Авторы-составители:
Евгений Егорович Фомичев
Екатерина Владимировна Порохина

**ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ:
УЧЕБНАЯ ПОЛЕВАЯ ПРАКТИКА**

Учебно-методическое пособие

Технический редактор: П.А. Шевченко
Ответственный за выпуск: Л.В. Домбраускайте

Печать: трафаретная
Бумага: офсетная
Усл. печ. л.: 5,3
Уч. изд. л.: 8,8

Сдано в печать: 11.08.2010
Формат: 60×84¹⁶
Заказ: 911/У
Тираж: 200 экз.

Издательство Томского государственного педагогического университета
634061, г. Томск, ул. Киевская, 60
Отпечатано в типографии Издательства ТГПУ,
г. Томск, ул. Герцена, 49. Тел. (3822) 52-12-93
e-mail: tipograf@tspu.edu.ru