

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт фундаментальной медицины и биологии

Л.З. Хуснетдинова

УЧЕБНО-ПОЛЕВАЯ ПРАКТИКА ПО ФИЗИОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

Учебно-методическое пособие

Казань
2013

УДК 581.1

*Печатается по решению Редакционно-издательского совета ФГАОУВПО
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»*

*методической комиссии Института фундаментальной медицины и биологии
Протокол № 2 от 28 мая 2013 г.*

*заседания кафедры физиологии и биохимии растений
Протокол № 2 от 13 мая 2013 г.*

Составитель

канд. биол. наук, ст. преподаватель Л.З. Хуснетдинова

Рецензент

канд. биол. наук, доц. Л.У. Мавлюдова

Учебно-полевая практика по физиологии растений: учебно-методическое пособие / Л.З. Хуснетдинова. – Казань: Казанский университет, 2013. – 36 с.

Данное учебно-методическое пособие предназначено для проведения полевой практики по физиологии растений. Полевая практика позволяет приобщить студентов к самостоятельной учебно-исследовательской работе, а также к овладению экспериментальными и методическими основами опытов, проводимых в полевых условиях. В нем изложены методические рекомендации и индивидуальные задания, которые выполняются в период летней полевой практики.

Предназначено для студентов биологических и педагогических направлений подготовки, а также для учителей биологии средних учебных заведений.

© Казанский университет, 2013

© Хуснетдинова Л.З., 2013

ВВЕДЕНИЕ

Летняя полевая практика по физиологии растений – важнейший вид учебной деятельности, позволяющий сформировать у студентов объективные представления о физиологических процессах, протекающих в растительных организмах в естественных условиях их обитания.

Учебно-полевая практика расширяет общебиологический кругозор студентов, развивает интерес к научно-исследовательской работе. Они приобретают практические навыки самостоятельной работы в полевых условиях, осваивают методы по закладке и проведению вегетационных и полевых опытов с растениями различных экологических групп. Студенты получают представление о разнообразных явлениях в природе, оценивают влияние различных экологических факторов в естественных условиях на физиологические процессы растений.

В период летней полевой практики теоретический материал, полученный во время аудиторных занятий, углубляется практической экспериментальной работой в ходе наблюдения за растениями, выращиваемыми в условиях вегетационного и полевого опытов или произрастающих в естественных условиях обитания. Это обеспечивает усвоение всего комплекса знаний о физиологических процессах растений, а также формирует у студентов навыки и умения по выращиванию, уходу за растениями и наблюдением за их состоянием.

Цель практики – формирование у студентов навыков проведения учебного и исследовательского эксперимента по изучению основных жизненных процессов растений.

Задачами летней практики являются:

- закрепление теоретического материала в области физиологии растений;
- получение навыков исследовательской работы в ходе постановки вегетационных и полевых опытов;
- изучение влияния различных экологических факторов на физиологические процессы растений;
- освоение методов проведения физиологических исследований на пришкольном учебно-опытном участке.

В пособии представлены задания, выполнение которых предусматривает работу непосредственно в природных (полевых) условиях. Они предполагают изучение влияния естественных условий среды обитания (температуры, влажности, освещенности, плодородия почвы и т.д.) на анатомо-морфологические и физиологические особенности растений.

В пособии большое внимание уделяется составлению таблиц и диаграмм по результатам опытов, статистической обработке, теоретическому анализу полученных результатов и сопоставлению их с литературными данными.

В процессе выполнения самостоятельной работы студент должен вести дневник с результатами полевых наблюдений, расчетами и выводами.

По окончании практики проводится итоговая конференция, на которой студенты представляют результаты проведенных исследований.

Результаты работы оформляются в виде отчета, в котором приводятся результаты экспериментов в виде таблиц, графиков, а также фотографии постановки опытов, гербарного материала. По итогам летней практики студентам выставляется зачет.

ВОДНЫЙ ОБМЕН

Вода является основным компонентом живого, составляя в среднем 80-90% массы растения. Содержание воды зависит от типа и возраста органов, их функционального состояния.

Вода, содержащаяся в столь больших количествах, выполняет множество функций:

- водная фаза в системе почва – корень – стебель – лист – атмосфера образует непрерывную среду, благодаря и при участии которой осуществляется перенос веществ между различными частями этой системы;
- вода для реагирующих веществ является растворителем, взаимодействие веществ в реакциях метаболизма происходит в водной среде;
- вода образует гидратные оболочки биополимеров и участвует в формировании их молекулярной структуры;
- вода подвергается химическим превращениям в некоторых жизненно важных процессах, например окислению и образованию молекулярного кислорода при фотосинтезе;
- обладает высокой удельной теплоемкостью, вода сглаживает колебания температуры растительных тканей при резких колебаниях температуры окружающей среды;
- вода препятствует перегреву растений за счет ее испарения с поверхности органов;
- благодаря явлению осмоса и наличию у растительных клеток относительно жестких клеточных стенок, вода поддерживает в клетках положительное тургорное давление, придавая им нужную форму, и отвечает за их растяжение при росте.

Водный обмен растений включает три процесса: поглощение, передвижение и испарение воды листьями. Водный баланс растения определяется соотношением между поглощением и выделением воды. Для бездефицитного водного баланса необходимо, чтобы расходование влаги листьями компенсировалось ее поглощением через корни. Подвядание растений приводит к серьезным нарушениям в ультраструктуре клеток и обмену веществ.

Вода поступает в растение в результате корневого давления и присасывающего действия транспирации.

Корневое давление называют нижним концевым двигателем водного тока. Активное поглощение воды корнем осуществляется с затратой энергии, против электрохимического градиента. Примером являются – гуттация и плач растений. Силу, поднимающую воду вверх по сосудам, называют корневым давлением. Корневое давление имеет большое значение в поглощении воды растением при подземном прорастании и в весеннее время до распускания

листьев. Существенная роль корневого давления в поддержании непрерывности водных нитей в сосудах ксилемы. Корневое давление ликвидирует в ночные часы возникший за день водный дефицит.

Присасывающая сила транспирации является верхним концевым двигателем водного тока, обеспечивающим транспорт воды и растворенных в ней минеральных и органических веществ. Всасывание происходит пассивно, по градиенту водного потенциала, без затраты энергии. Работа верхнего концевого двигателя обусловлена испарением воды с поверхности листьев – транспирацией.

Основное значение в регулировании испарения воды растениями принадлежит устьицам. Поэтому интенсивность транспирации в значительной мере зависит от степени их открытости. Количество устьиц варьирует в зависимости от возраста листа и условий среды и составляет от 50 до 500 на 1 мм². В листьях устьица могут располагаться или на обеих сторонах, или только на нижней.

Количество созданного сухого вещества на 1 л транспирированной воды характеризует продуктивность транспирации. В зависимости от условий выращивания и видовых особенностей растений она составляет 2-8, чаще 3-5 г/л. Величиной, обратной продуктивности транспирации, является транспирационный коэффициент, который показывает, сколько воды растение затрачивает на построение единицы массы сухого вещества. Для большинства сельскохозяйственных растений транспирационный коэффициент варьирует от 100 до 500.

На величину транспирационного коэффициента влияют условия минерального питания, обеспеченность водой, интенсивность освещения и другие факторы. Степень использования воды растением можно повысить, создавая для него оптимальные условия водоснабжения и питания. Закономерности водного обмена растений важно учитывать при разработке агротехнических приемов, направленных на получение высоких урожаев.

Работа 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПИРАЦИИ СРЕЗАННЫХ ЛИСТЬЕВ ПРИ ПОМОЩИ ТОРЗИОННЫХ ВЕСОВ ПО Л. И. ИВАНОВУ

Общие сведения. Интенсивность транспирации – количество воды, испарившейся с единицы листовой поверхности в единицу времени. Величина ее зависит от внешних факторов, времени суток и колеблется в пределах 15-250 (мм²·ч).

Метод основан на учете изменений массы срезанного транспирирующего листа за короткие промежутки времени, что дает возможность наблюдать транспирацию при том состоянии насыщения листа водой, в каком он находился на растении.

Интервал между взвешиваниями не должен превышать 5 мин. При более длительной экспозиции уменьшается содержание воды в листе и снижается интенсивность транспирации.

Цель работы. Изучить зависимость интенсивности транспирации растений от различных факторов окружающей среды в течение дня.

Материалы и оборудование. Древесные растения, кустарники, травянистые растения. Торсионные весы, психрометр, ножницы, пинцет.

Методика выполнения работы. Срезают лист, берут его пинцетом, кладут на чашку или подвешивают на крючок торсионных весов. Лист быстро взвешивают как указано в инструкции (см. приложение 2). Таким образом взвешивают листья одного и того же яруса с десяти растений. Через 5 мин после взвешивания первого листа повторно взвешивают все листья в первоначальном порядке.

Убыль в массе листьев за время между первым и вторым взвешиваниями показывает, сколько воды испарилось за этот период. Все расчеты выполняют по суммарной массе десяти листьев каждого варианта.

Рассчитывают количество воды, испарившейся из 1 г сырых листьев за 1 час. Интенсивность транспирации [г/(м²·ч)] рассчитывают по формуле

$$T = \frac{10\,000 \cdot C}{St},$$

где C – убыль в массе за время опыта, г; S – площадь листа, см², t – продолжительность опыта, ч.

Результаты опыта записывают в таблицу 1 по приведенной форме.

Таблица 1

Определение интенсивности транспирации срезанных листьев

Вариант опыта	Условия опыта			Ярус листьев	Масса листьев, мг										Суммарная масса 10 листьев, мг	Потеря воды 10 листьями, мг	Площадь листа (S), см ²	Интенсивность транспирации, г/(м ² ·ч)
	время, ч	температура воздуха, °С	влажность воздуха, %		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
				верхний														
				нижний														

Работа 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТОЯНИЯ УСТЬИЦ МЕТОДОМ ИНФИЛЬТРАЦИИ ПО МОЛИШУ

Общие сведения. Причиной устьичных движений может быть действие света, изменение оводненности тканей, температуры, концентрации CO_2 в межклетниках и др. В условиях недостаточного водообеспечения происходит гидроактивное закрывание устьиц. Причем они начинают постепенно закрываться еще до проявления каких-либо внешних признаков водного дефицита. Поэтому степень открытости устьиц может служить физиологическим показателем для определения обеспеченности растений водой и установления сроков полива.

Определение состояния устьиц методом инфильтрации основано на способности жидкостей, смачивающих клеточные стенки, проникать через открытые устьичные щели в межклетники, вытесняя из последних воздух. При инфильтрации межклетников соответствующие участки листа становятся прозрачными.

В качестве инфильтрующих растворов берут органические жидкости, обладающие различной вязкостью и неодинаковой способностью смачивать клеточные стенки и поэтому по-разному проникающие через устьичные отверстия в межклетники. Относительно легко проникает ксилол, труднее – бензол, еще труднее – спирт. Разная способность этих жидкостей проникать в устьичные щели позволяет определить степень открытости устьиц.

Цель работы. Изучить степень открытости устьиц листа в зависимости от факторов окружающей среды в течение дня.

Материалы и оборудование. Древесные растения, кустарники, травянистые растения, спирт, бензол, ксилол. Психрометр, капельницы.

Методика выполнения работы. На соседние участки нижней стороны листа наносят последовательно спирт, бензол и ксилол. Лист выдерживают в горизонтальном положении до полного исчезновения капель, которые могут либо испариться, либо проникнуть внутрь листа, и рассматривают его в проходящем свете. Если жидкость проникла в межклетники листа, то на нем появляются прозрачные пятна.

На основании полученных данных делают заключение о разной степени раскрытия устьиц, исходя из того, что при инфильтрации только ксилолом они открыты слабо, ксилолом и бензолом – средне, ксилолом, бензолом и спиртом – сильно.

Результаты опыта записывают в таблицу 2 по приведенной форме.

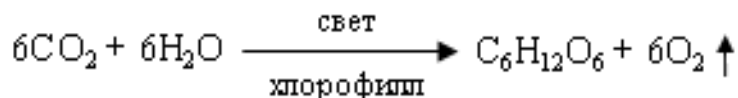
Определение степени раскрытия устьиц

Вариант опыта	Условия опыта			Ярус листьев	Проникновение			Степень раскрытия устьиц
	время, ч	температура воздуха, °С	влажность воздуха, %		спирт	бензол	ксилол	
				верхний				
				нижний				

ФОТОСИНТЕЗ

Фотосинтез – это процесс преобразования поглощенной растением энергии солнечного света в химическую энергию органических соединений. За счет энергии света в растениях из неорганических соединений – углекислого газа (CO_2) и воды (H_2O) – образуются углеводы и высвобождается молекулярный кислород (O_2).

Процесс фотосинтеза принято выражать суммарным уравнением



Условно в нем выделяют две стадии: световую, или фотохимическую, и темновую, или химическую. Первая включает реакции поглощения хлорофиллом и другими пигментами квантов света и последующую трансформацию световой энергии в химическую энергию связей аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) и восстановленного никотинамидадениндинуклеотидфосфата (НАДФ·Н). В темновой стадии запасенная в форме АТФ и НАДФ·Н химическая энергия используется для восстановления акцептированного диоксида углерода до углеводов и других продуктов.

Процесс фотосинтеза протекает в специальных клеточных органеллах листьев (и других зеленых частей) – хлоропластах. Хлоропласты окружены двойной мембраной. Каждая мембрана образована двумя слоями белков, разделенных бимолекулярным слоем липидов. Внутреннее пространство хлоропластов заполнено бесцветным содержимым – стромой (матриксом) и пронизано мембранами (ламеллами). Ламеллы, соединенные друг с другом, образуют пузырьки – тилакоиды. В стромах хлоропласта содержатся тилакоиды двух типов. Короткие тилакоиды собраны в пачки и расположены друг над другом, напоминая стопку монет. Эти стопки называются гранами, а составляющие их тилакоиды – тилакоидами гран. Длинные ламеллы, которые располагаются между гранами, называют тилакоидами стромы. Строма представляет собой мелкозернистую гидрофильную массу (гель). В стромах располагаются сахара, органические кислоты, крахмальные зерна, капельки жира, рибосомы, нити ДНК, витамины, фитогормоны, микро- и макроэлементы.

Согласно современным представлениям в тилакоидных мембранах локализованы все фотосинтетические пигменты хлоропласта и ферменты, необходимые для осуществления световых реакций фотосинтеза. В стромах содержатся ферменты, участвующие в темновых превращениях диоксида углерода. Таким образом, сложная и тонкая структура хлоропласта обеспечивает пространственное разделение отдельных реакций, а тем самым и эффективный ход фотосинтеза в целом. Образующиеся в пластидах

продукты ассимиляции транспортируются в другие органы и ткани растения, где используются в процессе метаболизма и роста.

Фотосинтез связан с избирательным поглощением пигментами света в видимой части солнечного спектра. У высших растений пигментная система хлоропласта представлена двумя типами пигментов: зелеными – хлорофиллами *a* и *b* и желтыми – каротиноидами.

Некоторые водоросли, помимо хлорофилла и каротиноидов, содержат пигменты фикобилины (фикоэритрины – у красных, фикоцианины – у синезеленых, аллофикоцианины – у зеленых водорослей).

Таким образом, вся совокупность жизненных проявлений организма тесно связана с фотосинтезом. Синтезированные зелеными растениями органические вещества служат пищей для всех остальных организмов, в том числе и для человека, а кислород, выделяемый в процессе фотосинтеза, обеспечивает существование организмов. Ежегодная первичная продуктивность фотосинтеза на планете составляет более 100 млрд т сухой массы, в которой аккумулируется примерно $17 \cdot 10^{21}$ Дж солнечной энергии. Следовательно, фотосинтез – один из важнейших движущих факторов круговорота веществ и энергии на Земле.

Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧИСТОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ФОТОСИНТЕЗА

Общие сведения. На долю органических соединений, создаваемых в ходе фотосинтеза, приходится около 85% общей биомассы растительного организма. Поэтому изменение сухой массы может довольно объективно отражать ассимиляционную деятельность растений. Именно этот показатель положен в основу метода определения «нетто-ассимиляции», или чистой продуктивности фотосинтеза.

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) представляет собой прирост сухой массы растений в граммах за определенное время (сутки), отнесенный к единице листовой поверхности (m^2). Ее учитывают периодическим отбором проб растений, у которых определяют общую массу, массу отдельных органов и площадь листьев. Далее «нетто-ассимиляцию» [$г/(m^2 \cdot сут)$] рассчитывают по формуле

$$\text{ЧПФ} = \frac{B_2 - B_1}{0,5(L_1 + L_2) \cdot n},$$

где B_1 и B_2 – сухая масса растений в начале и в конце учетного периода; $(B_2 - B_1)$ – прирост сухой массы за n дней; L_1 и L_2 – площади листьев в начале и в конце периода, m^2 ; $0,5(L_1 + L_2)$ – средняя рабочая площадь листьев за время опыта; n – период между двумя наблюдениями, дней.

При использовании формулы допускают, что листовая поверхность за время наблюдения нарастает равномерно. В действительности в большинстве случаев площадь листьев увеличивается неравномерно. В связи с этим зарубежными исследователями предложена иная формула для определения чистой продуктивности фотосинтеза:

$$\text{ЧПФ} = \frac{(B_2 - B_1)(\ln L_2 - \ln L_1)}{(L_2 - L_1) \cdot n},$$

где $\ln L_2$ и $\ln L_1$ – натуральные логарифмы показателей площадей листьев в начале и в конце учитываемого периода; остальные показатели те же, что и в предыдущее формуле.

Уравнение наиболее удовлетворительно выражает зависимость «нетто-ассимиляции» от прироста сухого вещества и динамики нарастания листовой поверхности, однако проще пользоваться первой формулой. Следует иметь в виду, что чем больше разрыв между пробами, тем менее точны результаты определения. Оптимальное время между пробами составляет 7-10 дней, в периоды интенсивного роста растений оно может быть сокращено до 5 дней.

Другой источник погрешностей метода связан с трудностью отбора проб растений, обусловленной большим разнообразием культур, ценозов и условий произрастания.

Невозможно точно учесть и изменения массы подземных частей, которые у некоторых растений служат основным местом накопления пластических веществ. Кроме того, часть фотосинтетически усвоенного углерода расходуется на дыхание и экзосмос. Наконец, в период физиологической зрелости растений наблюдается стабилизация массы сухого вещества, а с возрастом отмечается даже снижение количества биомассы в результате отмирания части листового аппарата и других органов растения. Однако скорость фотосинтеза у функционирующих листьев может не меняться очень слабо.

В данном случае показатель «нетто-ассимиляции» уже не будет отражать реальное состояние фотосинтетической активности растений. Перечисленные обстоятельства необходимо учитывать при использовании рассматриваемого метода. Метод определения «нетто-ассимиляции» эффективен при использовании фотосинтеза в природных условиях. Он позволяет получать ценный материал для изыскания наиболее рациональных путей повышения продуктивности культурных и естественных ценозов, прогнозирования и программирования урожаев, целесообразного географического размещения сельскохозяйственных растений.

Показатели чистой продуктивности фотосинтеза в природных условиях обычно колеблется от 0,1 до 20 г и более сухого вещества на 1 м^2 площади листьев в сутки: у злаков в фазе интенсивного роста – 40-50, у основных сельскохозяйственных культур при благоприятных условиях – 4-10 г/($\text{м}^2 \cdot \text{сут}$).

Цель работы. Определить продуктивность фотосинтеза у растений разных экологических групп.

Материалы и оборудование. Растения. Технические и аналитические весы, термостат, бюксы или металлические стаканчики, ножницы, бумага.

Методика выполнения работы. На опытных посевах берут пробы растений. Для уменьшения разброса результатов в пробу включают наиболее типичные и однородные для данного посева и фазы развития экземпляры. У злаков, например, берут не менее пятидесяти параллельных проб, каждая из которых состоит из 10-20 растений. В пробу включают все опавшие и засохшие листья и побеги. Отобранные растения помечают этикетками, заворачивают в бумагу и переносят для анализа в лабораторию, где быстро разделяют на отдельные органы и каждую часть взвешивают. Пожелтевшие или отмершие листья учитывают отдельно.

Дальнейшая обработка материала заключается в отборе проб для определения сухого вещества в отдельных органах растений и измерении площади листьев.

Для нахождения содержания сухого вещества из растительной массы каждой части (%) берут две-три порции материала, помещают в бюксы (или металлические стаканчики), взвешивают и высушивают в термостате при 105 °С до постоянной массы. Затем рассчитывают содержимое сухого вещества и устанавливают массу абсолютно сухих частей, а в итоге общую сухую массу растений, взятых для исследования.

Площадь листьев определяют по одному из методов, описанных в приложении 1. Определение следует выполнять быстро и только на зеленых листьях.

Через 7-10 дней таким же образом вновь отбирают растения и описанные определения повторяют. Чистую продуктивность фотосинтеза рассчитывают по формуле (см. с. 11).

Если наблюдения провести в течение вегетации растений, можно получить ценные данные о продуктивности работы листьев в отдельные периоды жизни исследуемой культуры или в зависимости от условий ее произрастания.

Результаты наблюдений записывают в таблицу 3 по приведенной форме.

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ

Под минеральным питанием понимают совокупность процессов поглощения, передвижения и усвоения химических элементов, необходимых для жизни растительного организма, в форме ионов минеральных солей, которые могут быть извлечены из окружающей среды с помощью корней (корневое питание) или через листья при нанесении на них растворов солей (некорневое питание). Необходимые растениям элементы при корневом питании поступают из минералов почвы или становятся доступными в результате минерализации органического вещества. При некорневом питании поступление веществ происходит в основном через кутикулу. Поэтому поглощение тем активнее, чем дольше сохраняется на поверхности листа водная пленка.

Растения способны поглощать из окружающей среды практически все элементы. К необходимым для высших растений элементам кроме углерода, водорода и кислорода, которые усваиваются в процессе воздушного питания, относятся макро- и микроэлементы. Содержание макроэлементов (N, P, K, Ca, Mg, S, Si) в растительных тканях в расчете на сухую массу варьирует от 1,5 до 0,1%. Концентрация же микроэлементов (Fe, Zn, Cu, Mn, Mo, B, Cl, Ni) составляет 0,01% и ниже.

Для получения более объективной информации об обеспеченности растений минеральным питанием наряду с почвенной проводят растительную диагностику.

В. В. Церлинг дает следующую классификацию методов растительной диагностики.

1. Визуальная диагностика – определение нарушения питания по внешнему виду растений.

2. Метод инъекции или опрыскивания. Используют главным образом для диагностики питания микроэлементами.

3. Морфобиометрическая диагностика по приросту массы, числу и размерам органов, величине и структуре урожая.

4. Химическая диагностика – химический анализ растений по фазам их развития.

Широкое использование в физиологических исследованиях водной культуры обеспечило разработку и распространение методов промышленного выращивания растений без почвы на питательных растворах, которые получили название гидропоника.

Среди гидропонных технологий выделяют как минимум три способа выращивания растений:

- без каких-либо субстратов (водная и водно-воздушная культуры);
- на инертных субстратах (керамзит, песок, гравий);
- на активных субстратах (ионообменные смолы, цеолиты).

Одним из важных преимуществ гидропоники является возможность формировать необходимые параметры ионного состава растительной продукции в онтогенезе растений за счет программированного минерального питания. В гидропонной культуре растения отличаются высокими темпами роста, быстрее переходят к цветению и плодоношению, дают более ценную в биологическом отношении продукцию с повышенным содержанием витаминов, сахаров, органических кислот, но с меньшим – нитратов, и более высокие урожаи, чем при выращивании в почве.

Надо иметь в виду, что не только недостаток элементов минерального питания, но и их избыток и несбалансированность отрицательно влияют на растительный организм. Питательный раствор должен содержать все необходимые элементы в достаточном количестве и в усвояемой форме, быть физиологически уравновешенным. Физиологически уравновешенными являются те растворы, которые обеспечивают нормальный рост, развитие и высокую продуктивность растений.

Работа 4. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ

Общие сведения. В состав растений входят почти все известные химические элементы. Исключение любого из макро- и микроэлементов приводит к нарушению структур и обмена веществ растений, торможению их роста и в последующем – к гибели. Это связано с тем, что необходимые элементы входят в состав определенных веществ растений, которые выполняют присущие им функции лишь в соединении с данным элементом.

Цель работы. Изучить роль отдельных элементов минерального питания на рост и развитие растений.

Материалы и оборудование. Проростки растений, концентрированные растворы KNO_3 , $Ca(NO_3)_2$, KCl , $NaCl$, KH_2PO_4 , NaH_2PO_4 , $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, приготовленные с таким расчетом, чтобы 5-10 мл этого раствора соответствовали концентрации соли в нормальной смеси Хогланда-Снайдерса; навески с $CaSO_4 \cdot 2H_2O$; 0,5%-ный раствор цитрата или тартрата железа; растворы борной кислоты и сульфата марганца. Весы, стеклянные банки на 1 л, бумажные чехлы для банок, шпагат, деревянные пробки, бюретки на 50 мл., стеклянные трубки, стеклянные палочки, резиновые груши, линейки.

Методика выполнения работы. Приготовление питательных смесей. Готовят полную питательную смесь по Хогланду-Снайдерсу и питательные смеси с исключением азота, фосфора и калия. При исключении из питательной смеси любого элемента, связанные с ним элементы вносят в эквивалентных количествах в виде солей, не содержащих исключаемый элемент.

Для приготовления концентрированных маточных растворов солей, входящих в смесь Хогланда-Снайдерса, составляют рабочие таблицы, в которых указывают необходимое количество солей на выбранный объем раствора (табл. 4). Маточную питательную смесь готовят из того расчета, что 10 мл раствора солей макроэлементов соответствует их количеству в 1л смеси Хогланда-Снайдерса (на 1 л или 1 кг субстрата). Микроэлементы вносят по 2 мл на 1 л питательной смеси (необходимость внесения микроэлементов и их выбор определяет преподаватель).

Опыт ставится по следующей схеме:

- 1-й вариант содержит дистиллированную воду (контроль),
- 2-й вариант полный питательный раствор,
- 3-й вариант раствор с исключением азота,
- 4-й вариант раствор с исключением фосфора,
- 5-й вариант раствор с исключением калия.

Таблица 4

Рабочая таблица для приготовления питательной смеси по Хогланду-Снайдерсу

Соль	Масса соли для приготовления маточного раствора, г	Для приготовления 1 л смеси Хогланда-Снайдерса добавляют маточного раствора, мл		
		1 норма	0,5 нормы	0,2 нормы
<i>Макроэлементы (на 10 л)</i>				
KNO ₃	510	10,0	5,0	2,0
Ca(NO ₃) ₂	10%-ный раствор d ₄ ¹⁸ 1,0771	8,2	4,1	1,6
KH ₂ PO ₄	136	10,0	5,0	2,0
MgSO ₄ ·7H ₂ O	490	10,0	5,0	2,0
<i>Микроэлементы (на 2 л)</i>				
MnCl ₂ ·4H ₂ O	0,35			
H ₃ BO ₃	0,55			
ZnSO ₄	0,05			
CuSO ₄	0,05			
MoO ₂	0,024			
FeSO ₄ ·7H ₂ O	4,0			

Готовят в отдельных склянках

Примечание. Посуда для приготовления растворов макро- и микроэлементов должна быть из цветного стекла, чтобы избежать размножения микроскопических водорослей.

Смесь без азота. В состав смеси азот входит в виде солей $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и KNO_3 . Для того чтобы после исключения его из питательного раствора концентрации калия и кальция сохранялись на прежнем уровне, KNO_3 заменяют на KCl , а $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Расчет выполняют, пользуясь данными таблицы 4.

Последовательность расчетов

• Определим количество калия, связанного с анионом NO_3^- , в соли KNO_3 . Грамм-молекула KNO_3 (101,11 г) содержит 39,10 г калия, а в 0,51 г KNO_3 его находится x г; составляем пропорцию

$$\begin{array}{l} 101,11 \text{ г} - 39,10 \text{ г} \\ 0,51 \text{ г} - x \text{ г}, \end{array}$$

отсюда

$$x = \frac{39,10 \cdot 0,51}{101,11} = 0,20 \text{ г.}$$

• Определим, сколько KCl необходимо внести в питательную смесь, чтобы сохранить количество калия, эквивалентное его содержанию в 0,51 г KNO_3 . Грамм-молекула KCl (74,60 г) содержит 39,10 г калия, а 0,20 г калия находится в x г KCl :

$$\begin{array}{l} 74,60 \text{ г} - 39,10 \text{ г} \\ x \text{ г} - 0,20 \text{ г}, \end{array}$$

отсюда

$$x = \frac{74,60 \cdot 0,20}{39,1} = 0,38 \text{ г.}$$

Итак, вместо 0,51 г KNO_3 , исключаемого по азоту из питательной смеси, в раствор вносят эквивалентное по содержанию калия количество KCl , равное 0,38 г.

• Определяем количество кальция, связанного в соли $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Грамм-молекула $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ (164,10 г) содержит 40,08 г кальция, а в 0,82 г $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ его находится x г:

$$\begin{array}{l} 164,10 \text{ г} - 40,08 \text{ г} \\ 0,82 \text{ г} - x \text{ г}, \end{array}$$

отсюда

$$x = \frac{0,82 \cdot 40,08}{164,10} = 0,20 \text{ г.}$$

• Определим, сколько необходимо внести $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, чтобы сохранить количество кальция, эквивалентное его содержанию в 0,82 г $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Грамм-молекула $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (172,16 г) содержит 40,08 г кальция, а в 0,20 находится x г $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:

$$172,16 \text{ г} - 40,08 \text{ г}$$

$$x \text{ г} - 0,20 \text{ г},$$

отсюда

$$x = \frac{172,16 \cdot 0,20}{40,08} = 0,86 \text{ г}.$$

Следовательно, вместо 0,82 г $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ вносят 0,86 г $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Смесь без фосфора. Соль KH_2PO_4 замещают солью KCl . Расчеты выполняют по приведенному выше образцу:

$\begin{array}{l} \text{KH}_2\text{PO}_4 - \text{K} \\ 136,20 \text{ г} - 39,10 \text{ г} \\ 0,136 \text{ г} - x_1 \text{ г}, \\ x_1 = \frac{39,10 \cdot 0,136}{136,20} = 0,04 \text{ г}; \end{array}$	$\begin{array}{l} \text{KCl} - \text{K} \\ 74,60 \text{ г} - 39,10 \text{ г} \\ x_2 \text{ г} - 0,04 \text{ г}, \\ x_2 = \frac{74,60 \cdot 0,04}{39,10} = 0,08 \text{ г}. \end{array}$
--	--

Итак, вместо 0,136 г KH_2PO_4 берут 0,08 г KCl .

Смесь без калия. Соль KH_2PO_4 заменяют $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, а соль $\text{KNO}_3 - \text{NaNO}_3$. Вначале по известным пропорциям определяют содержание P в 0,136 г KH_2PO_4 , затем вычисляют эквивалентное по фосфору количество $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$:

$\begin{array}{l} \text{KH}_2\text{PO}_4 - \text{P} \\ 136,20 \text{ г} - 31,00 \text{ г} \\ 0,136 \text{ г} - x_1 \text{ г}, \\ x_1 = \frac{31,00 \cdot 0,136}{136,20} = 0,031 \text{ г}; \end{array}$	$\begin{array}{l} \text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} - \text{P} \\ 138,00 \text{ г} - 31,00 \text{ г} \\ x_2 \text{ г} - 0,031 \text{ г}, \\ x_2 = \frac{138,00 \cdot 0,031}{31,00} = 0,138 \text{ г}. \end{array}$
---	---

Следовательно, на 1 л смеси берут 0,138 г соли NaH_2PO_4 . Аналогично вычисляем необходимое и эквивалентное по азоту количество NaNO_3 вместо 0,51 г KNO_3 . Из таблицы известно, что концентрация калия в соли KNO_3 составляет 0,005 г·моль/л. Зная, что масса грамм-молекулы NaNO_3 составляет 85 г, необходимое количество этой соли, соответствующее 0,005 г·моль/л Na, будет равно $85 \cdot 5 / 1000 = 0,425 \text{ г}$.

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

Закладка опыта и учет результатов. В литровую банку наливают 700 мл водопроводной воды, поочередно вводят туда в виде растворов все соли питательной смеси ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ вносят в порошке). После прибавления очередного раствора содержимое сосуда помешивают стеклянной палочкой. После внесения всех солей доливают водой до отметки 850 или 900 мл. Закрывают банку деревянной пробкой (рис. 1), в которой делают три отверстия: первое – в центре для растения, второе – для стеклянной трубки, предназначенной для продувания воздуха, третье – для палочки, служащей опорой для растения.

Корни погружают в раствор, уровень которого должен быть ниже пробки в зависимости от длины корней на 1-5 см. Закрывают корни от света и предохраняют раствор от перегрева, надевают на банку бумажный чехол или помещают ее в холщовый мешок. С внутренней стороны он должен быть черным (для затемнения корневой системы), а с наружи – белым (для отражения тепловых лучей). Прикрепляют этикетку, на которой карандашом обозначают дату постановки опыта, вариант опыта и фамилию.

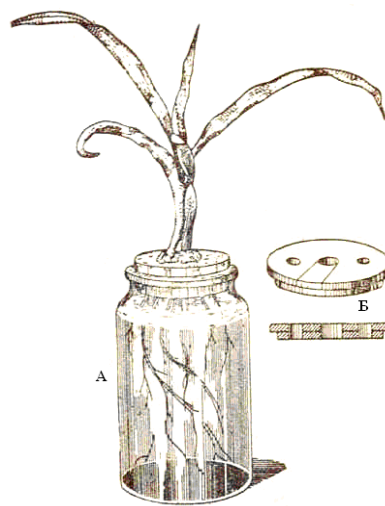


Рис. 1. А – сосуд для водных культур; Б – крышка для сосуда

Питательные растворы ежедневно продувают воздухом резиновой грушей в течение 15-20 мин. По мере убыли питательного раствора за счет транспирации сосуда доливают водой до исходного уровня.

Результаты опыта записывают в таблицу 5 по приведенной форме.

Таблица 5

Развитие растений в зависимости от состава питательной смеси

Питательная смесь	Высота растения, см	Число листьев	Масса надземной части		Масса корней		Отношение массы надземной части к массе корней	Внешний вид растений (окраска листьев, характер повреждений)
			г/сосуд					
			сырая	сухая	сырая	сухая		
Полная Без N Без P Без K								

Работа 5. ВИЗУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА НЕДОСТАТКА В РАСТЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ (по В. В. Церлинг)

Общие сведения. Определенные внешние признаки проявляются на растениях из-за нарушения их питания и обусловлены недостатком или токсичным избытком какого-либо элемента.

При недостатке реутилизируемых элементов (N, P, K и Mg) они оттекают из ранее образовавшихся частей растений в молодые, формирующиеся, более

активно поглощающие питательные вещества органы. Поэтому их недостаток сильнее всего отражается на состоянии развитых, закончивших рост листьев.

Недостаток всех остальных, нереутилизируемых или слабореутилизируемых элементов сказывается на самых молодых растущих частях растения. При избытке все элементы накапливаются в сформированных органах, и поэтому изменения их внешнего вида свидетельствует об избытке, токсичности элемента.

Распознавание признаков голодания растений, вызываемых недостатком тех или иных элементов минерального питания, крайне важно для устранения признаков заболевания путем своевременной подкормки.

Цель работы. Научиться диагностировать недостаток элементов минерального питания по внешним признакам растения.

Методика выполнения работы. Прежде всего следует установить, внешний вид каких частей растения нарушен. Затем по признакам, характерным для каждого элемента, уточняют, какого элемента не хватает.

Прежде чем приступить к использованию показателей визуальной диагностики, необходимо убедиться, что растения не поражены болезнями или не повреждены вредителями, которые также изменяют внешний вид растений.

Угнетенное состояние растений может быть вызвано также засухой, кислотностью или щелочностью, засолением почвы, ухудшением дыхания корней из-за высокой плотности пахотного слоя, переувлажнением и т.д. Поэтому следует учитывать и погодные условия, агротехнику.

Рассмотрим внешние признаки голодания в отношении отдельных элементов (таблица 6).

Таблица 6

Признаки голодания по отдельным элементам питания у растений

Элемент	Симптомы недостаточности
N	Слабый рост, карликовость, склероморфизм. Отношение побеги/корни сдвинуто в пользу корней. Пожелтение начинается с нижних листьев, с их верхушек и распространяется на следующие (кверху) листья. Преждевременное пожелтение более старых листьев, мелколистность.
P	Задержка цветения, отсутствие роста, на листьях и незрелых плодах появляются мертвые некротические пятна, фиолетовая окраска листьев и стеблей, тенденция к скручиванию листьев.
K	Белые и бурые пятна, рваный край листа, отверстия в листе, краевой ожог листьев (запал).
S	Сходны с симптомами азотной недостаточности. Отставание в

	росте растений. Листья от бледно-зеленой до кремовой и желтой окраски. При голодании по сере отсутствует характерный признак азотистого голодания – общее пожелтение всего растения.
Mg	Белые или желтые пятна на листьях сливаются, лист бурет и отмирает. При глубоком дефиците листья узкие, по цвету – красные, оранжевые, пурпурные. Наблюдается слабый рост и межжилковый хлороз старых листьев.
Ca	Гофрированные, сморщенные листья с некротическими зонами. Отсутствие верхушечных почек. Укороченные корни бурой окраски. Нарушение роста связанного с делением и растяжением клеток.
Fe	Бледно-желтая окраска ткани листьев между жилками у молодых листьев, жилки остаются зелеными. Хлороз. Малая мощность растения, неурожай. Старые листья поражаются позже сходным образом.
Mn	Однородная желтизна старых и молодых листьев, а также верхушечной почки. Межжилкового хлороза на поздних стадиях нет. На ранних – имеется угнетение роста и межжилковый хлороз.
B	Отмирание верхушечных почек, листовые пластинки утолщаются, скручиваются, становятся ломкими, цветки не образуются; черная гниль у корнеплодов свеклы, моркови, полые кочерыжки капусты, затвердение плодов у яблони и др.
Zn	Ярко-желтая окраска всей поверхности листьев и зеленый цвет жилок. Желтые полосы на листьях злаков. Мелколистность верхушечных побегов. Листорасположение принимает розеточную форму, междоузлия укорачиваются.
Cu	Бледно-желтая окраска листьев или полосатые закрученные листья. Вдоль краев листьев хлороз с последующим некрозом.
Mo	Узкие, длинные, скрученные листья, выемки на листовой пластинке, хлороз сложных листьев, включая черешок.

Результаты опыта записывают в таблицу 7 по приведенной форме.

Таблица 7

Визуальная диагностика недостатка элементов минерального питания в растениях

Вид растения	Орган растения	Недостаток в растениях элементов минерального питания												Диагноз			
		N	P	K	Mg	Zn	Ca	B	Fe	Mn	Cu	S	Mo				

Работа 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ РАСТЕНИЙ В УДОБРЕНИЯХ МЕТОДОМ ЛИСТОВОЙ (ТКАНЕВОЙ) ДИАГНОСТИКИ (по В. В. Церлинг)

Общие сведения. Листовая, или тканевая, диагностика – это контроль за условиями питания на основании данных о содержании неорганических форм соединений элементов в тканях или листьях свежих растений, соке из них или вытяжке. При помощи тканевой диагностики можно сделать заключение о содержании элементов минерального питания в отдельных частях растения (пока не появились внешние признаки голодания) и о целесообразности подкормок на разных этапах роста и развития растений.

Цель работы. Определить содержание элементов минерального питания в отдельных частях растения.

Материалы и оборудование. Растения, реактивы в капельницах: сернокислый дифениламин, молибдат аммония, бензидин, насыщенный раствор ацетата натрия, соляная кислота, дипикриламин магния, кобальт-нитрит натрия. Ручной пресс, фильтровальная бумага, лезвия.

Методика выполнения работы. Отбирают по 2-3 растения каждого варианта, отчленивают от них те части растений, которые можно использовать для диагностических целей в соответствии с фазой развития, на которой они находятся в момент определения.

Определение нитратов. Из листьев с помощью ручного пресса отжимают сок, каплю его наносят на кусочек фильтровальной бумаги или ткани. Затем на эту каплю наносят каплю 1%-ного раствора сульфата дифениламина. Полученную окраску оценивают по 6-бальной шкале (таблица 8).

Таблица 8

Шкала для определения потребности растений в азотном удобрении

Балл	Характер окрашивания пятна	Потребность растений в азотном удобрении
6	Раствор и ткань быстро и интенсивно окрашиваются в сине-черный цвет. Окраска устойчивая	Не нуждаются, избыток нитратов
5	Раствор и ткань сразу окрашиваются в темно-синий цвет. Окраска сохраняется	Не нуждаются, нитратов достаточное количество
4	Раствор и ткань окрашиваются в синий цвет. Окраска проявляется не сразу	Слабо нуждаются
3	Окраска светло-синяя, исчезает через 2-3 мин	Средне нуждаются
2	Окрашивание светло-голубое	Нуждаются
1	Следы голубой, быстро исчезающей окраски	Сильно нуждаются
0	Порозовение бумаги, обугливание	Очень сильно нуждаются

Определение фосфатов. Из листьев отжимают сок, 1 каплю его наносят на фильтровальную бумагу, на нее капают 1 каплю молибдата аммония. Отпечатку дают слегка подсохнуть и затем последовательно наносят по 1 капле бензидина и насыщенного раствора ацетата натрия. После этого появляется синяя окраска отпечатков сока на фильтровальной бумаге. Интенсивность окраски сравнивают со шкалой (таблица 9) и оценивают в баллах.

Таблица 9

Определение потребности растений в фосфатных удобрениях

Балл	Окраска раствора на бумаге или ткани	Потребность растений в фосфатных удобрениях
5	Пятно и ткань темно-синие	Не нуждаются
4	Синяя	Слабо нуждаются
3	Светло-синяя	Средне нуждаются
2	Серо-голубая	Нуждаются
1	Слабо-серо-голубая	Сильно нуждаются
0	Нет синего или голубого окрашивания	Очень сильно нуждаются

Определение калия. Каплю сока из листьев исследуемых растений наносят на фильтровальную бумагу. Затем на пятно наносят 1 каплю раствора кобальт-нитрита натрия (или дипикриламина магния), а затем 1 каплю соляной кислоты. Появившуюся окраску пятна сравнивают со шкалой (таблица 10) и оценивают в баллах.

Таблица 10

Определение потребности растений в калийных удобрениях

Балл	Окраска раствора на бумаге или ткани	Потребность растений в калийных удобрениях
5	Красно-суриковая	Не нуждаются
4	Красно-оранжевая	Слабо нуждаются
3	Оранжевая	Средне нуждаются
2	Желто-оранжевая	Нуждаются
1	Соломенно-желтая	Сильно нуждаются
0	Лимонно-желтая	Очень сильно нуждаются

Полученные результаты определений заносят в сводную таблицу 11 по приведенной форме.

Потребность растений в элементах минерального питания

Вариант опыта	Анализируемая часть растения	Азот		Фосфор		Калий	
		балл	потребность	балл	потребность	балл	потребность

ГОРМОНЫ РОСТА РАСТЕНИЙ

Фитогормоны (греч. *hormos* – побуждающий, вызывающий) – это вещества, вырабатываемые в процессе естественного обмена веществ и оказывающие в малых количествах регуляторное влияние, координирующее физиологические процессы. Гормоны – это низкомолекулярные органические вещества. Они образуются в различных тканях и органах и действуют в очень низких концентрациях.

В настоящее время классическими фитогормонами признаются ауксины, цитокинины, гиббереллины, абсцизовая кислота и этилен. Многие исследователи также относят к фитогормонам brassinosteroids, оксипирины, салициловую кислоту и ряд пептидов.

Фитогормоны имеют следующие общие черты:

- это сравнительно низкомолекулярные органические соединения;
- вырабатываются растением;
- действие проявляют в очень низких концентрациях (10^{-13} - 10^{-5} моль/л);
- как правило, образуются в одной части растения, а действуют в другой, куда транспортируются;
- образуются в отдельных частях растения, но распространяются по всему организму, составляя своеобразное гормональное поле;
- регулируют крупные морфогенетические и физиологические программы и подпрограммы.

Фитогормоны полифункциональны, регулируют многие физиологические процессы, физиологическое действие их на растение зависит от следующих факторов:

- специфика фитогормона – спектра физиологических действий на растительный организм данного фитогормона;
- специфика объекта – видовых, органных, тканевых, возрастных и других особенностей растительного объекта, определяющих его восприимчивость к фитогормону;
- концентрации фитогормона – определенных границ концентраций, в которых фитогормон активизирует или ингибирует данный физиологический процесс или функцию;
- соотношения данного фитогормона с другими – от функционирования многокомпонентной гормональной системы, составляющей гормональное поле растения;
- обеспеченности растительного объекта необходимыми факторами минерального и углеродного питания;

- эндогенного содержания фитогормона – ответной реакции растительного объекта на экзогенный гормон, зависящей от его концентрации внутри растения;
- напряженности факторов внешней среды (свет, температура, вода и др.), создающих необходимые условия для действия фитогормона.

Синтезировано много искусственных регуляторов роста растений, которые широко применяют: для подавления развития сорняков; при укоренения черенков; для нарушения или вызывания состояния покоя растений; опадения листьев; ускорения опадения излишних завязей и предупреждения предуборочного опадения плодов, увеличения их размеров; получения партенокарпических (бессемянных) плодов.

Работа 7. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНДОЛИЛУКСУСНОЙ КИСЛОТЫ НА УКОРЕНЕНИЕ ЧЕРЕНКОВ

Общие сведения. Индолилуксусная кислота (ИУК) вызывает усиленное образование корней у черенков травянистых и древесных растений. На этом основано применение ее в сельском хозяйстве для размножения черенков трудноукореняющихся растений. (На практике чаще используют синтетические аналоги ИУК, такие, как α -нафтилуксусная и индолилмасляная кислоты.)

Цель работы. Изучить влияние индолилуксусной кислоты на процесс образования придаточных корней у черенков растений.

Материалы и оборудование. Проростки растений (фасоль, горох и др.), 0,01%-ный раствор ИУК. Колбы конические на 200 мл, химические стаканы на 200 мл, скальпель.

Методика выполнения работы. Берут проростки растений высотой 11-13 см. Срезают у основания четыре одинаковых по высоте и развитию проростка, подрезают их под водой примерно на 1 см. Два проростка помещают в стакан или колбу с водопроводной водой (контроль), два других – в такую же посуду с 0,01%-ным раствором ИУК (опыт).

Через 3 ч черенки вынимают из раствора ИУК, ополаскивают их основания водопроводной водой, погружают в воду на глубину 4-5 см и оставляют на свету при температуре около 20 °С до образования корней. В конце опыта учитывают число возникших корней у черенков, обработанных ИУК, и контрольных.

Результаты записывают в таблицу 12 по приведенной форме.

Влияние ИУК на укоренение черенков

Вариант опыта	Число образовавшихся корешков	Стимулирование корнеобразования под действием ИУК, % от контроля
Водопроводная вода (контроль)		
0,01%-ный раствор ИУК		

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ЛИСТЬЕВ

Общие сведения. При изучении интенсивности фотосинтеза, дыхания, транспирации чаще всего получаемые величины рассчитывают на единицу листовой поверхности, поэтому возникает необходимость ее измерения. Для определения листовой поверхности разработано множество методов и приемов. Рассмотрим некоторые из них.

Материалы и оборудование. Растения. Торзионные или аналитические весы, бумага, линейки, сверла, ножницы.

Методика выполнения работы. Метод отпечатков. Лист растения накладывают на однородную бумагу и обводят контур остро отточенным карандашом. Получив отпечаток листа, определяют его площадь весовым методом.

Для этого вырезают бумагу по контуру листовой пластинки и взвешивают на торзионных или аналитических весах. Одновременно из такой же бумаги вырезают квадрат, например площадью 100 см^2 ($10 \times 10 \text{ см}$), и также определяют его массу. Площадь исследуемого листа находят по формуле

$$S = aC/b,$$

где a – масса контура листа, мг; b – масса квадрата бумаги, мг; C – площадь квадрата бумаги, см^2 .

Описанный метод прост и достаточно точен, но малопроизводителен. Кроме того, его практически нельзя использовать при исследовании гофрированных и сложных листьев.

Метод высечек. Этот наиболее доступный и продуктивный метод особенно ценен в полевых условиях. Суть его в следующем. Отбирают среднюю пробу растений, быстро срезают листья и определяют их массу. Затем из каждого листа выбирают пробочным сверлом определенного диаметра несколько высечек, объединяют их вместе и устанавливают массу. Диаметр сверла выбирают в зависимости от размеров листовой пластинки и ее поверхностной плотности. Площадь листьев определяют по формуле

$$S = ac/b,$$

где a – общая масса сырых листьев, г; b – общая масса сырых высечек, г; c – общая площадь высечек, см^2 .

УСТРОЙСТВО ПРИБОРОВ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ

ТОРЗИОННЫЕ ВЕСЫ

Устройство и принцип работы

Торсионные весы предназначены для быстрого и точного взвешивания тел, имеющих массу в граммах определенных пределов измерений.

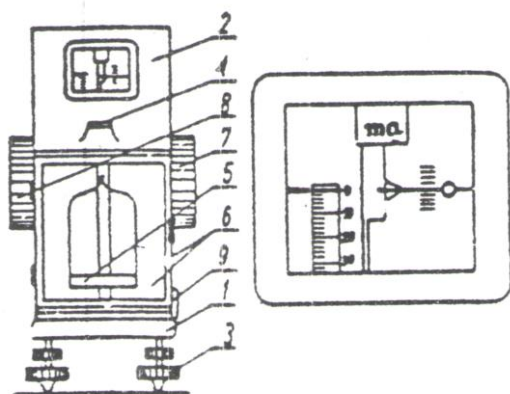


Рис. 1. Схема торсионных весов:

1 – металлическая плита; 2 – корпус;
3 – регулировочные винты;
4 – уровень; 5 – чашка; 6 – стеклянное ограждение; 7 – правая регулировочная головка; 8 – левая головка; 9 – головка

следует отблокировать весы. Отблокирование заключается в повороте головки (9) на 180° и установке красной точки «0» (отблокировано). Буква «Z» обозначает положение «заблокировано». После этого вращают левой головкой (8) шкалу до тех пор, пока подвижная стрелка не займет положение на красной черте, определяющей равновесие рычага. Правой головкой (7) наводят неподвижную стрелку на нулевое деление шкалы.

Механизм весов смонтирован на металлической плите (1) и прикрыт корпусом (2). Установка весов заключается в точной проверке по уровню и отрегулировании при помощи регулировочных винтов (3). Поворачиванием регулировочных винтов достигается горизонтальность установки весов, показываемая круглым уровнем (4), находящимся в корпусе над стеклянным ограждением (6).

При закрытых дверцах, в связи с чем исключается возможность влияния наружной среды на чашку, следует отблокировать весы. Отблокирование заключается в повороте головки (9) на 180° и установке красной точки «0» (отблокировано). Буква «Z» обозначает положение «заблокировано». После этого вращают левой головкой (8) шкалу до тех пор, пока подвижная стрелка не займет положение на красной черте, определяющей равновесие рычага. Правой головкой (7) наводят неподвижную стрелку на нулевое деление шкалы.

Затем приступают к взвешиванию. Предмет, приготовленный к взвешиванию необходимо схватить пинцетом и осторожно положить на чашку (5) или подвесить на крючке. После этого закрыть ограждение. Левую головку вращают левой рукой влево (от себя) до тех пор, пока подвижная стрелка не достигнет красной черты равновесия. Вращение головки вызывает вращение подвижной шкалы. Массу, взвешиваемого предмета, отсчитывают на подвижной шкале в том месте, в котором указывает неподвижная стрелка. После отсчета результата следует шкалу установить при помощи левой головки в исходное положение (нулевое), вращая этой головкой вправо (к себе). После окончания измерения, следует осторожно снять взвешенный предмет и закрыть ограждение.

ГИГРОМЕТР ПСИХРОМЕТРИЧЕСКИЙ

Устройство и принцип работы

Гигрометр представляет собой прибор, собранный на основании из фенпласта. К основанию крепится два термометра со шкалой, психрометрическая таблица, стеклянный питатель, заполняемый дистиллированной водой.

Резервуар термометра под надписью «Увлажн.» увлажняется водой из питателя с помощью фитиля из батиста или шифона.

Метод измерения относительной влажности гигрометром психрометрическим основан на зависимости между влажностью воздуха и психрометрической разностью – С разностью показаний «сухого» и «увлажненного» термометров, находящихся в термодинамическом равновесии с окружающей средой.

Сняв показания термометров и введя поправки в их показания, определяют разность показаний термометров. Затем по показанию «сухого» термометра и разности показаний «сухого» и «увлажненного» термометров определяют относительную влажность воздуха по психрометрической таблице.

Порядок работы

Снимите показания по «сухому» и «увлажненному» термометрам. При снятии показаний глаз работающего должен находиться на уровне горизонтальной касательной к мениску жидкости, так, чтобы отметка шкалы в точке отсчета была видима прямолинейность.

Работающий с гигрометром должен находиться от него на расстоянии нормальной видимости отметок шкалы и остерегаться во время отсчетов дышать на термометры. При отсчете показаний термометров вначале быстро отсчитываются десятые доли градуса, затем целые градусы. Определите температуру по термометрам с точностью до 0,1 °С, введя к отчитанным поправки к термометрам. Вычислите разность температур по «сухому» и «увлажненному» термометрам. Поправки вводятся путем алгебраического сложения.

Определите относительную влажность воздуха по психрометрической таблице. Искомая относительная влажность будет на пересечении строк температуры по «сухому» термометру и разности температур по «сухому» и «увлажненному» термометрам.

При отсутствии в таблице полученной разности температур по «сухому» и «увлажненному» термометрам для определения влажности примените интерполирование.

При отсутствии в таблице температуры по «сухому» термометру, для определения влажности применяйте интерполирование только для тех областей психрометрической таблицы, в которых изменение температуры по «сухому» температуру на ГС дает изменение относительной влажности более чем на 1%.

Для остальных областей таблицы значения температуры по «сухому» термометру округляйте до ближайшего табличного значения по правилу арифметического округления.

Пример определения относительной влажности интерполированием

– Определяем температуры по «сухому» и «увлажненному» термометрам и разность между этими температурами.

Термометры	Измеренные температуры, °С	Поправки к термометрам по паспорту, °С	Температуры после введения поправок, °С
«Сухой»	$T_c = 22,5$	- 0,15	22,35
«Увлажненный»	$T_b = 16,1$	+ 0,20	16,3

Принимаем $T_c = 22,4$ °С, разность температуры ($T_c - T_b$) равна: $22,4 - 16,3 = 6,1$ °С.

– Определяем относительную влажность для $T_c = 22,4$ °С и $T_c - T_b = 6,0$ °С, для чего интерполированием значения относительной влажности по таблице для T_c от 22 до 23 °С и $T_c - T_b = 6,0$ °С.

T_c по таблице, °С	Разность $T_c - T_b$ по таблице, °С	Относительная влажность, %
22	6,0	48
23	6,0	50

При увеличении T_c на 1 °С, относительная влажность увеличивается на 2 %, поэтому, увеличение T_c на 0,4 °С увеличит относительную влажность на $0,42/1 = 0,8\%$. Для $T_c = 22,4$ °С и $T_c - T_b = 6,0$ °С, относительная влажность равна: $48 + 0,8 = 48,8\%$. Принимаем «Фп» = 4,9%.

– Определяем относительную влажность для $T_c = 22,4$ °С и $T_c - T_b = 6,5$ °С, для чего интерполируем значения относительной влажности по таблице для T_c от 22 до 23 и $T_c - T_b = 6,5$ °С.

T_c по таблице, °С	Разность $T_c - T_b$ по таблице, °С	Относительная влажность, %
22	6,5	44
23	6,5	46

Для $T_c=22,4$ °С и $T_c-T_b=6,5$ °С, относительная влажность равна: 48,8%. Принимаем «Фп»=45%.

– Определяем относительную влажность для $T_c=22,4$ °С и $T_c-T_b=6,1$ °С, для чего интерполируем найденные значения относительной влажности для T_c-T_b от 6,0 до 6,5 °С при $T_c=22,4$ °С.

T_c , °С	Разность T_c-T_b , °С	Относительная влажность, %
22,4	6,0	49
22,4	6,5	45

При увеличении T_c-T_b на 0,5 °С относительная влажность уменьшается на 4,0%, поэтому увеличение T_c-T_b на 0,1 °С уменьшит относительную влажность на $0,1 \cdot 4,0 / 0,5 = 0,8\%$. $4,9 - 0,8 = 48,2\%$. Принимаем «Фп» = 48%.

**ГИГРОМЕТР
ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА
СКОРОСТЬ АСПИРАЦИИ от 0,5 до 1,0 м/с**

Показания сухого термометра, °С		Разность показаний термометров, °С																																			
		1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5				
90	85	81	76	71	67	63	58	54																													
91	85	81	77	72	68	64	59	55	51	47																											
92	85	82	77	73	69	64	61	56	52	48	44	41																									
93	86	82	78	74	70	65	62	58	54	50	46	42	39																								
94	87	83	78	74	70	66	62	59	55	51	48	44	40																								
95	87	83	79	75	71	67	63	60	56	52	49	45	42	38																							
96	88	84	80	76	72	69	65	61	58	54	51	49	44	41	39	35	32	29	26	23	20																
97	88	84	80	77	73	69	66	62	59	55	52	50	46	43	41	36	33	30	28	25	22	19															
98	88	84	81	77	73	70	66	63	60	56	53	51	47	44	42	38	35	32	29	27	24	21	18														
99	88	85	81	78	74	71	67	64	61	57	54	52	48	45	43	39	36	34	31	28	25	23	20														
100	89	85	82	78	75	71	68	65	61	58	55	53	49	46	44	41	38	35	32	30	27	25	22	20													
101	89	85	82	78	75	72	69	65	62	59	56	54	50	47	46	42	39	36	34	31	29	26	24	21	19												
102	89	86	82	79	76	72	69	66	63	60	57	55	51	48	47	43	40	38	35	33	30	28	25	23	21	18											
103	89	86	83	79	76	73	70	67	64	61	58	56	52	49	48	44	41	39	36	34	32	29	27	24	22	20											
104	90	86	83	80	76	73	70	67	64	61	59	57	53	50	49	45	43	40	38	35	33	31	29	26	24	22	19										
105	90	86	83	80	77	74	71	68	65	62	59	57	54	51	49	46	44	41	39	36	34	32	30	27	25	23	21	19									
106	90	87	83	80	77	74	71	68	66	63	60	58	55	52	50	47	45	42	40	38	35	33	31	29	27	24	22	20									
107	90	87	84	81	78	75	72	69	66	63	61	59	56	53	51	48	46	43	41	39	36	34	32	30	28	26	24	22	20								
108	90	87	84	81	78	75	72	70	67	64	61	59	56	54	52	49	47	44	42	40	37	35	33	31	29	27	25	23	21	19							
109	90	87	84	81	78	76	73	70	67	65	62	60	57	55	53	50	48	45	43	41	39	36	34	32	30	28	26	24	23	21	19						
110	91	88	85	82	79	76	73	70	68	65	63	61	58	55	53	51	48	46	44	42	39	37	36	33	31	29	28	26	24	23	21	19					
111	91	88	85	82	79	76	73	70	68	65	63	61	58	55	53	51	48	46	44	42	39	37	36	33	31	29	28	26	24	23	21	19					

Относительная влажность, %

ЛИТЕРАТУРА

1. Вальтер О.А. Практикум по физиологии растений / О.А. Вальтер, Л.М. Пиневиц. – М.: Сельхозгиз, 1938. – 191 с.
2. Викторов Д.П. Практикум по физиологии растений / Д.П. Викторов. – 2-е изд. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1991. – 160 с.
3. Воскресенская О.Л. Физиология растений / О.Л. Воскресенская, Н.П. Грошева, Е.А. Скочилова. – Йошкар-Ола: Мар. гос. ун-т, 2008. – 148 с.
4. Кузнецов В.В. Физиология растений / В.В. Кузнецов, Г.А. Дмитриева. – М.: Высш. шк., 2005. – 735 с.
5. Лабораторно-практические занятия и летняя учебно-производственная практика по курсу физиологии растений с основами биохимии. – Саратов: Коммунист, 1964. – 155 с.
6. Лабораторно-практические занятия по физиологии растений и биохимии. – Саратов: Коммунист, 1972. – 62 с.
7. Медведев С.С. Физиология растений / С.С. Медведев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2013. – 512 с.
8. Пильщикова Н.В. Физиология растений с основами микробиологии / Н.В. Пильщикова. – М.: Мир, 2004. – 184 с.
9. Полевой В.В. Физиология растений / В.В. Полевой. – М.: Высшая школа, 1989. – 464 с.
10. Практикум по физиологии растений / Г.А. Дмитриева. – М.: Университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, 1972. – 164 с.
11. Практикум по физиологии растений / Н.Н. Третьяков, Л.А. Паничкин, М.Н. Кондратьев и др. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2003. – 288 с.
12. Практикум по физиологии растений / под редакцией проф. И.И. Гунара. – М.: Колос, 1972. – 167 с.
13. Практикум по физиологии растений: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / В.Б. Иванов, И.В. Плотникова, Е.А. Живухина и др.; под ред. В.Б. Иванова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 144 с.
14. Сказкин Ф.Д. Практикум по физиологии растений / Ф.Д. Сказкин, Е.И. Ловчиновская, Т.А. Красносельская, М.С. Миллер, В.В. Аникиев. – М.: Советская наука, 1953. – 310 с.
15. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н.Н. Третьяков, Е.И. Кошкин, Н.М. Макрушин и др.; под ред. Н.Н. Третьякова. – 2-е изд. – М.: КолосС, 2005. – 656 с.
16. Физиология растений: метод. пос. / сост. И.Л. Бухарина, О.В. Любимова. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2009. – 59 с.
17. Физиология растений: учебник для студ. вузов / Н.Д. Алехина, Ю.В. Балнокин, В.Ф. Гавриленко и др.; под ред. И.П. Ермакова. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2007. – 640 с.

18. Шабельская Э.Ф. Индивидуальные задания по физиологии растений на полевой практике / Э.Ф. Шабельская, А.Н. Санько. – Минск: Вышэйшая школа, 1982. – 128 с.

19. Якушкина Н.И. Физиология растений: учебник для студ. вузов / Н.И. Якушкина, Е.Ю. Бахтенко. – М.: ВЛАДОС, 2005. – 463 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ВОДНЫЙ ОБМЕН	5
Работа 1. Определение интенсивности транспирации срезанных листьев при помощи торсионных весов по Л. И. Иванову	6
Работа 2. Определение состояния устьиц методом инфильтрации по Молишу	8
ФОТОСИНТЕЗ	10
Работа 3. Определение чистой продуктивности фотосинтеза	11
МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ	15
Работа 4. Изучение влияния элементов питания на рост и развитие растений	16
Работа 5. Визуальная диагностика недостатка в растении элементов минерального питания (по В. В. Церлинг)	20
Работа 6. Определение потребности растений в удобрениях методом листовой (тканевой) диагностики (по В. В. Церлинг)	23
ГОРМОНЫ РОСТА РАСТЕНИЙ	26
Работа 7. Изучение влияния индолилуксусной кислоты на укоренение черенков	27
ПРИЛОЖЕНИЯ	29
ЛИТЕРАТУРА	35

Отпечатано в полном соответствии с предоставленным оригинал-макетом

Подписано в печать 24.09.2013.
Форм. 60 x 84 1/16. Гарнитура «Таймс». Печать ризографическая.
Печ.л. 2,25. Тираж 100. Заказ 230.

Лаборатория оперативной полиграфии Издательства КФУ
420045, Казань, Кр.Позиция, 2а
Тел. 233-72-12