

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»**

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В АГРОХИМИИ

**краткий курс лекций
для аспирантов**

**Направление подготовки
35.01.06Сельское хозяйство**

Саратов 2014

УДК 631.8(075.8)
ББК 40.4я73
Н26

Рецензент:

Доктор сельскохозяйственных наук, зав. кафедрой
«Защита растений и плодоовощеводство»
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет»
И.Д. Еськов

Методы исследований в агрохимии: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 35.01.06 Сельское хозяйство / Сост.: Е.А.Нарушева // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. –с. 91.

Краткий курс лекций по дисциплине «Методы исследований в агрохимии» составлен в соответствии с программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки 35.01.06 «Сельское хозяйство». В кратком курсе лекций изложены теоретические основы и техника методов исследования, используемых агрохимиками в научной и производственной работе. Предложенный материал позволит аспирантам приобрести навыки в определении содержания питательных веществ в почве, в проведении анализа растений и удобрений по качественным реакциям, в определении уровня плодородия зональных почв. Материал ориентирован на вопросы профессиональной компетенции будущих специалистов сельского хозяйства.

УДК 631.8(075.8)
ББК 40.4я73
Н26

© НарушеваЕ.А., 2014
© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014

Введение

Агрохимия пользуется различными *методами исследований*. Это обусловлено тем, что она изучает многообразные вопросы, к числу которых относятся: питание растений, биохимические процессы, свойства почв, качество продукции, технология, свойства и применение удобрений. Для агронома наиболее важным является изучение растений, удобрений и почв в целях выявления необходимости применения удобрений и выбора наиболее целесообразных путей их использования.

Задачей курса являются познание теоретических основ и освоение методик исследований, применяемых в почвоведении и агрохимии.

Основные методы агрохимического исследования – полевой, вегетационный, лизиметрический и лабораторный. Первые три метода относятся к биологической группе, так как основным объектом изучения в них является растение. Лабораторный метод относится к химической группе.

Любой опыт или метод предназначается для разрешения задачи практического или научного значения. Сельскохозяйственный опыт помогает решить ряд вопросов, связанных с обработкой почвы, использованием минеральных и органических удобрений, химических мелиорантов, пестицидов, испытанием новых сортов сельскохозяйственных культур и т.д.

Полевые, вегетационные и лизиметрические опыты в агрохимии позволяют оценить плодородие почв, эффективность удобрений, вынос урожаем элементов питания и коэффициенты использования их, потери и в конечном итоге баланс элементов питания.

Лабораторные методы делятся на химические, физические, физико-химические, микробиологические и др. Они сопровождают полевые, вегетационные и лизиметрические опыты и позволяют глубже вскрыть причину эффективного и негативного действия изучаемого фактора, в том числе удобрения, на рост, развитие, урожайность растений, качество сельскохозяйственной продукции, окружающую среду. Без лабораторных анализов полевые, вегетационные и лизиметрические опыты считаются незаконченными, так как не вскрывают суть процессов, происходящих в почве и растении, влияющих на урожайность и качество продукции.

Результаты, полученные в полевых, вегетационных, лизиметрических и лабораторных исследованиях, для установления точности опыта и достоверности результатов обрабатывают математически. Для этого широко используют дисперсионный, корреляционный и ковариационный анализы.

В агрохимических исследованиях применяют метод изотопных индикаторов (меченых атомов), позволяющий определить трансформацию многих элементов в системе – почва-удобрение-растение. В качестве «меток» используют стабильные и радиоактивные изотопы, а, значит, умение работать на радиометрах, масс-спектрометрах обязательно для агрохимика и почвоведа.

РОЛЬ ПОЛЕВОГО ОПЫТА В АГРОХИМИИ. ВИДЫ И СХЕМЫ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

1.1. Роль полевого опыта в агрохимии и предъявляемые к нему требования

Значение любого сельскохозяйственного опыта состоит в том, что он позволяет выявить эффективность одного или нескольких приемов возделывания сельскохозяйственных культур в конкретных почвенно-климатических условиях. В агрохимических полевых опытах изучается влияние видов, форм, доз, сроков, способов внесения удобрений и химических мелиорантов, как в отдельности, так и с другими агрохимическими приемами, на рост, развитие, урожайность сельскохозяйственных культур и их качество.

Полевые опыты с удобрениями на разных типах почв, в различных климатических условиях позволяют более рационально распределять удобрения по областям и регионам страны. На основании данных урожая, химического состава растений, агрохимических показателей почвы можно учесть вынос элементов питания и коэффициенты их использования как из удобрений, так и из почвы. С помощью этих данных можно определить количество питательных веществ, закрепленных почвой, потерянных в газообразном состоянии и в результате выщелачивания в глубокие горизонты почвы, составить рациональную систему удобрения культур в севооборотах. Конечная задача полевого опыта заключается в разработке рекомендаций по использованию удобрений в минимальных дозах с высокой агрономической и экономической окупаемостью.

Полевой агрохимический опыт – это метод изучения жизни растений на специально выделенном участке, на определенной почвенной разности, выравненном по плодородию в целях установления эффективности удобрений и химических мелиорантов.

Агрохимические полевые опыты сопровождаются сопутствующими исследованиями почв и растений. Только с их помощью можно глубоко выяснить причины положительного или отрицательного воздействия удобрений на урожайность и качество возделываемых культур. Обязательным положением в содержании полевого опыта является единство анализа и синтеза. *Анализ* предполагает разложение сложного явления природы. *Синтез* – движение от сложного к частному. В процессе познания они дополняют друг друга и образуют единство.

Полевой опыт является биологическим методом, так как главным фактором урожая служит само растение. Основные факторы жизни растений – свет, тепло, влага, воздух и питательные вещества. Повысить урожайность можно, если изменить соотношение этих факторов. К выявлению действия этих факторов на растения в конкретных почвенно-климатических условиях и сводится полевой опыт.

Схема полевого опыта – перечень вариантов, входящих в него и сравниваемых между собой. В опытах с удобрениями вариантом сравнения является вариант без удобрений (абсолютный контроль). Схема опыта без контрольного варианта не позволяет оценить эффективность удобрений на той или иной почве, а также судить о ее плодородии.

Вариант опыта – один или несколько приемов, поставленных на изучение, осуществляемых на одной или нескольких делянках. Один из вариантов схемы опыта, в котором нет изучаемых приемов, называют абсолютным контролем или контрольным (стандартным). С ним сравнивают результаты всех других вариантов, поставленных на изучение, и результативность выражают прибавками (в ц/га, т/га, %).

Опытная делянка – элементарная часть опытного участка определенного размера и формы, на которой осуществляют агротехнический прием, поставленный на изучение согласно принятой схеме.

Повторность опыта в пространстве – число одноименных делянок каждого варианта.

Схематический план – размещение всех вариантов опыта на чертеже с указанием площади делянок, формы их, защитных полос и повторений. Схематический план вносят в полевой журнал, и он является необходимым документом при разбивке и восстановлении полевого опыта на опытном участке.

В основе полевого опыта лежит логический метод разницы – принцип единственного различия, то есть необходимость изменения какого-либо одного фактора при обязательном тождестве остальных. При постановке полевого опыта полностью устранить один из пяти факторов невозможно, так как растение может погибнуть. Изменяя один или несколько факторов, например условия питания и влажность почвы, нужно стремиться к тому, чтобы остальные – свет, тепло, воздух – оставались одинаковыми во всех вариантах опыта.

В полевых условиях соблюсти принцип единственного различия трудно, так как в природе ни один из факторов не является изолированным, все они тесно взаимосвязаны. Напр., при изменении условий питания меняются химический состав почвы, водно-физические свойства ее, воздушный режим окружающей среды и т.д. В опытах с удобрениями принцип единственного различия предусматривает соблюдение одинаковых агротехнических приемов (обработка почвы, одинаковые предшественники, равномерная засоренность, равномерность высева семян, виды и сорта) как в предшествующие закладке опыта годы, так и в год его проведения.

Основное требование к полевому опыту – соблюдение типичности. *Типичность* подразделяется на природную и организационно-хозяйственную. Первая предусматривает соответствие опыта природным условиям, вторая – организационно-хозяйственным. Требование к *природной* типичности опыта заключается в том, что результаты полевого опыта, полученные на определенной почвенной разности какого-либо региона, должны быть использованы на практике только в этом регионе. Напр., данные полевого опыта на дерново-подзолистых почвах Нечерноземья будут нетипичны для выщелоченных черноземов Краснодарского края. Или результаты полевого опыта на одной почве без полива нетипичны в условиях орошения.

Требование к *организационно-хозяйственной* типичности опыта предусматривает использование полученных результатов только в тех хозяйствах, которые схожи как по плодородию почв, так и по экономическим показателям. Иными словами, опыт, проведенный в экономически сильном хозяйстве, и результаты, полученные в нем, должны быть рекомендованы для аналогичных хозяйств.

Качество полевого опыта – одно из основных требований, которое определяется *точностью количественных результатов*. Оценку точности полученных результатов опыта проводят математически с использованием вариационной статистики.

Точность полевого опыта характеризуют величиной случайной ошибки средней опыта, выраженной в процентах от среднего урожая всего опыта.

Кроме точности полевой опыт характеризуется *достоверностью*. Достоверность и точность опыта – понятия не идентичные. Опыт считается достоверным, если он проведен в соответствии с принятой схемой и программой.

Требование достоверности (существенности) вариантов полевого опыта позволяет определить доказуемость агрономической эффективности вариантов. Под *достоверностью*, или *существенностью*, понимают математическую доказанность разницы в урожаях, сравниваемых между собой вариантов, обозначают ее $НСР_{0,95}$ (наименьшая существенная разница) при 95%-ном уровне вероятности.

Если при математической обработке прибавки между сравниваемыми вариантами больше или равны $НСР_{0,95}$ (в ц/га или т/га), то они существенны, доказуемы.

Агрохимический полевой опыт немыслим без ведения *сопутствующих исследований*, которые заносят в журнал полевого опыта и лабораторный журнал. Поэтому грамотное ведение журналов со строгой и точной фиксацией результатов наблюдений за ростом и развитием растений, агрохимических анализов удобрений, почв и растений необходимы

в работе экспериментатора. Ежегодно по итогам исследований составляют отчет по научно-исследовательской работе, который рассматривают на методических советах научных учреждений. Основными документами для его оформления служат журналы полевого опыта и лабораторных исследований.

1.2. Виды полевых опытов

Задачей агрохимического полевого опыта является разработка эффективных приемов использования удобрений и средств химической мелиорации для получения высоких и устойчивых урожаев хорошего качества. Эффективность удобрений зависит от типа почв, распределения осадков за вегетационный период, видов, форм, сроков и способов внесения и заделки в почву. Такое многообразие причин, влияющих на эффективность удобрений, предопределяет разработку определенных видов полевых опытов. В практике научно-исследовательских учреждений сложились разные виды полевых опытов, различающихся между собой по своим задачам и методике их проведения.

Классификацией полевых опытов занимались многие ученые в 30-е годы XX в. Предложенные А.Н. Лебеядцевым и Б.Н. Рождественским классификации практически в неизменном виде применяют и в настоящее время.

По месту проведения и цели полевые опыты подразделяют на стационарные и производственные. *Стационарные опыты* закладывают на постоянных участках землепользования научно-исследовательских учреждений. Цель таких опытов – выявление действия удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных растений, определение трансформации питательных веществ почвы и удобрений, значение других факторов, приемов возделывания культур, отзывчивость сортов на удобрения и др. Для стационарных опытов требуются создание определенного фона под опыт, обязательность учета урожайности как при прямом действии, так и в последствии удобрений, глубокие сопутствующие исследования в процессе вегетации растений. К стационарным опытам предъявляют строгие требования: предварительное всестороннее изучение плодородия почвы, выбор площади, направления, формы делянок и числа повторений, севооборотов, принятых в регионе и т.д. Стационарные опыты позволяют глубоко вскрыть процессы, происходящие в почве и растении, приводящие к изменению урожайности. Границы полей в стационарных опытах фиксируют реперами. Оптимальная площадь делянки в таких опытах 100-250 м², учетная – 80-150 м². Результаты стационарных опытов, выводы и рекомендации по ним используют в хозяйствах, типичных по почвенно-климатическим и организационно-хозяйственным условиям.

Производственные опыты закладывают в условиях колхозов, фермерских хозяйств как научно-исследовательские учреждения, так и специалисты хозяйств по своей инициативе. Основная цель таких опытов – получение ответа на интересующий вопрос со стороны производства.

К производственным опытам предъявляют менее строгие требования. В них до минимума сведены сопутствующие исследования, а в большинстве случаев ограничиваются анализом почв до закладки опыта и определением структуры урожайности, а иногда данными агрохимического обследования почв, проведенного в предшествующие закладке годы. Анализы растительных проб во время вегетации не проводят. И, тем не менее, выбор земельного участка, фиксация границ делянок и всего опыта, внесение удобрений, обработка почвы, посев, посадка, уход за растениями должны соответствовать требованиям методики полевого опыта.

В зависимости от цели исследований стационарные опыты подразделяют на основные и предварительные.

Основные опыты проводят по детально разработанным программам на длительное время.

Предварительные опыты носят ориентировочный, вспомогательный характер их

закладывают на небольшой срок, вне севооборота, и они служат основой для разработки схем и программ основных опытов. В них не планируют проведение сопутствующих исследований, а ограничиваются лишь данными урожайности.

Основные и предварительные опыты в зависимости от количества изучаемых факторов, длительности изучения, охвата объектов, места проведения подразделяются на наоднoфакторные и многофакторные, однолетние и многолетние, единичные и массовые.

К *однофакторным* относят опыты, в которых изучают действие одного приема на неизменном, постоянном агротехническом фоне при строгом соблюдении принципа единственного различия. Примером однофакторного опыта может служить опыт по изучению доз и соотношений минеральных удобрений под зерновую культуру. Схема такого опыта включает следующие варианты: 1) контроль (без удобрений); 2) $N_{30}P_{30}K_{30}$; 3) $N_{60}P_{60}K_{60}$; 4) $N_{90}P_{90}K_{90}$.

В однофакторных опытах могут изучаться виды и формы удобрений, дозы, сроки и способы внесения, отзывчивость сортов на удобрения и другие вопросы.

К *многофакторным* (синтетическим комплексным) опытам относятся такие, в которых изучают действие двух и более факторов на урожайность культуры, напр., изучение доз и полива на урожайность пшеницы. Схема такого опыта включает: 1) контроль (без удобрений и полива); 2) $N_{30}P_{30}K_{30}$; 3) $N_{60}P_{60}K_{60}$; 4) $N_{90}P_{90}K_{90}$; 5) контроль (без удобрений полив); 6) $N_{30}P_{30}K_{30}$ + полив; 7) $N_{60}P_{60}K_{60}$ + полив; 8) $N_{90}P_{90}K_{90}$ + полив. Схемы многофакторных опытов сложнее, чем однофакторных, а также возможностей научно-исследовательских учреждений в их проведении.

В схемы с основными удобрениями можно включать варианты с микроэлементами, биопрепаратами, регуляторами роста, гербицидами, нормами полива и дозами извести.

Многофакторные опыты позволяют учесть роль каждого приема в отдельности и при их взаимном сочетании.

В зависимости от длительности проведения опыты делят на *однолетние* и *многолетние*. К *однолетним* относят опыты, в которых действие одного приема (напр., удобрений) изучают в течение одного вегетационного периода. В опытах по изучению действия удобрений урожайность культуры учитывают лишь в первый год и не учитывают в последствии на второй.

В таких опытах изучают невысокие дозы основных минеральных удобрений – 10-30 кг д.в. на 1 га, вносимых как под основную обработку почвы, так и в подкормку многолетних трав, озимых культур; микроудобрений с основными элементами и в отдельности при подкормках растений и обработке семян.

Однолетние опыты закладываются в севооборотах НИИ и на полях хозяйств. Они сопровождаются сопутствующими исследованиями, так как даже при небольших дозах отзывчивость растений бывает значительной.

Но результаты полевого опыта зависят от погодных условий: количества и распределения осадков, температуры почвы и воздуха, освещенности, и урожайность получается неодинаковой по годам. Поэтому опыты по одной схеме и на одной почвенной разности хозяйства приходится проводить в течение 3-4 лет для того, чтобы получить убедительные данные по эффективности изучаемых приемов в разных погодных условиях. В таком случае их называют *однолетними в пространстве, но длительными во времени.*

К *многолетним* опытам относят такие, в которых эффективность однажды внесенных удобрений учитывают в течение нескольких лет: в первый год – прямое действие, на второй и последующий – последствие. Высоким последствием обладают органические удобрения, известь и гипсодержащие удобрения. Ответ об их эффективности можно получить только при постановке таких опытов.

Только с помощью длительных многолетних опытов можно выявить влияние окультуренности почв на эффективность удобрений, а также на влияние удобрений на окультуривание самой почвы.

По охвату территорий и значимости тем полевые опыты с удобрениями подразде-

ляют на единичные и массовые.

Единичные опыты проводят в отдельных пунктах независимо друг от друга по отдельным схемам и программам. К таким относятся большинство стационарных как длительных, так и краткосрочных опытов НИИ, сельскохозяйственных вузов и опытных станций.

Массовые опыты проводят в нескольких точках, и они объединены общей схемой. А.А. Кудрявцева массовые опыты подразделяет на географические и коллективные. В *географических опытах* действие удобрений изучают в различных почвенно-климатических условиях. Основная их цель – выявление влияния природных условий на эффективность видов, форм, доз, сроков и способов внесения удобрений.

Коллективные опыты, как и географические, проводят в разных почвенных условиях для изучения влияния хозяйственной деятельности человека и различных условий на тот или иной прием.

Вид того или иного опыта определяется темой и целью его, а поэтому схемы и программы их могут быть разнообразными. В зависимости от опытов объемы сопутствующих исследований, площади и формы делянок, количество повторений в пространстве и во времени могут быть разными, но основные требования, предъявляемые к опытам (принцип единственного различия, типичность, точность, достоверность, документация), должны соблюдаться во всех случаях.

Вопросы для самоконтроля

1. Каково значение полевого метода исследования в агрохимии?
2. Какие основные требования предъявляют к опытному участку?
3. Что такое схема опыта и схематический план опыта?
4. Составьте схемы полевых опытов с видами минеральных удобрений.
5. Составьте схемы полевых опытов с формами азотных удобрений.
6. Составьте схемы полевых опытов с дозами азотных удобрений.
7. Составьте схему многофакторного опыта.
8. Что такое программа опыта и что она отражает?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрочвоведение. Под ред. В.Д. Мухи – М.: КолосС, 2004. – 528 с. - ISBN5-9532-0047-1.
2. Минеев, В.Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. :КолосС ; М. : МГУ, 2004. - 719 с. – ISBN5-9532-0253-9. - ISBN 5-211-04795-8.
3. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.
4. Терпелец, В.И. Учебно-методическое пособие по агрофизическим и агрохимическим методам исследования почв / В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 65 с.
5. Щеглов, Д.И. Методы исследования физических свойств почв / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин, Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 27 с.
6. Щеглов, Д.И. Физико-химические методы исследования почв / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин, Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2007. – 31 с.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Корчагин, А.А. Физика почв: лабораторный практикум / А.А. Корчагин. – Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2011. – 211 с.

ЗАКЛАДКА И ПРОВЕДЕНИЕ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ

2.1. Схемы полевых опытов с удобрениями.

Постановка полевого опыта требует разработки методически правильной схемы, при этом прежде всего должен быть соблюден принцип единственного различия. Варианты схемы должны отражать те вопросы, на которые необходимо получить ответ с помощью опыта. Схема опыта должна обязательно включать вариант сравнения (контрольный). В *однофакторных опытах* с различными видами минеральных удобрений контрольным вариантом служит вариант без удобрений (абсолютный контроль). В опытах по изучению доз, форм, сроков и способов внесения удобрений контрольными являются варианты без удобрений (абсолютный контроль) и фоновый, т.е. вариант, на фоне которого изучают удобрения.

В *многофакторных опытах*, где удобрения изучают на фоне нескольких агротехнических приемов (полив, без полива, известкование, совместное применение различных органических удобрений), контрольных вариантов может быть несколько. В зависимости от количества изучаемых факторов опыты могут быть одно-, двух-, трехфакторными.

При постановке полевых опытов с удобрениями и разработке схем нужно стремиться к тому, чтобы число вариантов было минимальным, но при этом они должны давать исчерпывающий ответ на поставленный экспериментатором вопрос.

2.1.1. Опыты с видами удобрений

Основная цель опытов с разными видами минеральных удобрений – выявить отзывчивость растений на то или иное удобрение в отдельности и их сочетания.

В связи с многообразием типов, подтипов почв страны и их неодинаковым плодородием урожайность и качество сельскохозяйственных культур даже в пределах одного региона при применении удобрений значительно колеблются.

Зная потребность растений в конкретных видах удобрений, хозяйства могут рационально использовать их и избежать покупки неэффективных удобрений.

В России имеются почвы с различным содержанием доступного азота, фосфора и калия, поэтому действие азотных, фосфорных и калийных удобрений на них может проявляться по-разному. Полный исчерпывающий ответ об эффективности различных видов удобрений может дать только полевой опыт с правильно спланированной схемой. Для постановки таких опытов в научной работе широко используют восьмерную схему фр. Ученого Ж. Вилля. Эту схему использовал Д.Н. Прянишников в 30-е годы XX в. Схема Ж. Вилля включает изучение отдельных видов удобрений и их комбинаций: 1) контроль; 2) N; 3) P; 4) K; 5) NP; 6) NK; 7) PK; 8) NPK. Эта схема глубоко раскрывает задачу опыта и дает возможность оценить действие удобрений в отдельности и их сочетания.

При постановке такого опыта дозы азота, фосфора и калия во всех вариантах должны быть одинаковыми. Для сравнения здесь используют только вариант без удобрений; прибавки в центнерах, тоннах или процентах рассчитывают по отношению к контролю.

Схема Ж. Вилля может быть включена в схему многофакторных опытов. Так, напр., действие видов удобрений может быть изучено по фону извести и без нее, при поливе и без полива, с микроэлементами и без них, в этом случае вариантов сравнения может быть несколько.

2.1.2. Опыты с формами удобрений

Эффективность минеральных удобрений на изучаемых культурах зависит от принятой формы удобрений. Это связано, прежде всего, с неодинаковой отзывчивостью

растений на химический состав удобрений, а также с различными превращениями удобрений в почвах. Напр., для большинства растений безразлично, в какой форме (хлорсодержащей или сернокислой) вносят калийное удобрение. Большинство растений не выносят избыточной концентрации хлора в почвенном растворе и менее чувствительны к аниону серной кислоты.

Д.Н. Прянишников установил, что HCl быстрее поступает в клетки, чем H_2SO_4 и при одинаковой кислотности внешнего раствора растение почувствует вред от соляной кислоты, чем от серной. Особенно чувствительны к хлору гречиха, картофель, табак.

Формы азотных удобрений также по-разному влияют на урожай и качество. Во-первых, количество катиона (NH_4^+) и аниона (NO_3^-), поступающих в растение, зависит от реакции почвенного раствора и биологических особенностей культуры. Во-вторых, сульфат аммония, аммонийная селитра относятся к физиологически кислым удобрениям, а кальциевая и натриевая селитры – к физиологически щелочным. На дерново-подзолистых кислых почвах первые могут дополнительно подкислять почву, а вторые – снижать кислотность. Отношение же культур к кислотности разное, в большинстве случаев они ее не выносят.

Формы фосфорных удобрений по эффективности также не одинаковы. На нейтральных почвах действие фосфоритной муки может проявиться незначительно или его не будет совсем, в то время как от суперфосфата на всех типах почв с разной кислотностью получают дополнительные прибавки.

Опыты по изучению форм удобрений должны проводиться в случае, когда установлено положительное действие того или иного вида удобрения. Поэтому дозы удобрений, применяемые при постановке опытов с формами удобрений, должны быть такими же, как при изучении видов удобрений.

При составлении схем полевых опытов с формами удобрений контрольными должны быть варианты без удобрений и фоновый, т.е. такой, который предусматривает изучение форм одного вида на фоне двух других.

Схема полевого опыта по изучению форм азотных удобрений на зерновых культурах может быть следующей: 1) контроль (без удобрений); 2) $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ (фон); 3) фон + $\text{N}_{\text{M}60}$; 4) фон + $\text{N}_{\text{aa}60}$; 5) фон + $\text{N}_{\text{a}60}$; 6) фон + $\text{N}_{\text{ca}60}$.

Опыты по изучению форм удобрений предусматривают одинаковую технику их внесения.

2.1.3. Опыты с дозами удобрений

Действие видов и форм минеральных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур на той или иной почвенной разности какого-либо региона не может дать полного представления об эффективности доз удобрений и их соотношений. Опыты с дозами удобрений позволяют определить тот оптимальный вариант, при котором получают максимальную урожайность с хорошими показателями качества и высокой экономической эффективностью. Стандартное (испытываемое) удобрение должно быть взято в нескольких дозах по питательному веществу.

Как и в опытах с формами удобрений, в схему необходимо вводить оптимальный фон, так как действие испытываемого удобрения на почвах с низкой и средней обеспеченностью тем или иным элементом будет эффективным на фоне недостающих элементов. Другая причина включения фонового варианта состоит в том, что варианты с дозами ставятся в положение минимального фактора.

Напр., 1) контроль (без удобрений); 2) $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ (фон); 3) фон + $\text{N}_{\text{M}30}$; 4) фон + $\text{N}_{\text{M}60}$; 5) фон + $\text{N}_{\text{M}90}$; 6) фон + $\text{N}_{\text{M}120}$; 7) фон + $\text{N}_{\text{M}150}$.

В приведенной схеме полевых опытов с дозами азотных удобрений последние рассматриваются на одном фоне - $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$.

2.2. Сопутствующие наблюдения и учеты.

Уход за растениями на опытных делянках проводят, так же как и в общих посевах хозяйства, в соответствии с необходимостью. Основой является борьба с сорной растительностью, вредителями и болезнями. Если в хозяйстве своевременно проводят все агротехнические приемы и используют высококачественные семена, перепревший навоз, посеvy остаются чистыми в течение одной или двух ротаций семипольного севооборота. Сложнее бороться с болезнями и вредителями, распространение которых зависит от погодных условий и других причин.

В борьбе с сорной растительностью применяют гербициды, а с вредителями и болезнями – фунгициды и инсектициды.

Учет засоренности. Для этого используют показатели количества, встречаемости и ярусности сорняков в посевах. В зависимости от целей, поставленных программой, используют количественные и глазомерные методы учета.

Под *численность* понимают число растений (стеблей), приходящееся на единицу площади (1 м²).

Учетные (пробные) рамки прямоугольной или квадратной формы делают из деревянных брусков. Рамки располагают из расчета 1 площадка на 10 м² посевной площади делянки.

Массу всех надземных органов растений выражают в граммах на единицу площади (1 м²). Она характеризуется тремя величинами: массой живых растений (сырая масса), их абсолютно сухой массой и массой растений в воздушно-сухом состоянии.

В агрохимических опытах с удобрениями ограничиваются определением численности и массы сорной растительности.

Кроме количественных методов используют визуальный, или глазомерный. Степень распределения сорняков при глазомерной оценке оценивают по пятибалльной шкале: 1) до 1% общей площади; 2) 1-5%; 3) 5-25%; 4) 25-50%; 5) более 50% площади занято сорной растительностью.

Учет поражения растений болезнями. Это более сложная работа по сравнению с определением засоренности. Экспериментатор должен хорошо знать болезни растений, диагностику их определения, методы учета. Степень поражения растений болезнями зависит от многих причин: необработки посевного материала пестицидами, сроков и густоты посева, погодных условий и др. Большое влияние оказывают минеральные удобрения. Напр., при избыточном азотном питании зерновые заболевают в большей степени, чем при сбалансированном питании. Поэтому некоторые болезни наблюдаются лишь на отдельных делянках.

Распространенность болезней можно учитывать по двум показателям: % поражения растений, колосьев, метелок, початков; % площади, занятой пораженными растениями.

Процент пораженных растений и их частей устанавливают: при удалении с делянки пораженных растений; определении процента поврежденных растений в сноповом образце; определении больных растений на корню в пробах, взятых с определенной площади.

Процент площади, занятой пораженными растениями, часто определяют глазомерно, а степень поврежденных посевов оценивают по пятибалльной шкале: 1 балл – повреждены единичные растения, до 10%; 2 – повреждено 10-25%; 3 – повреждено 25-50%; 4 – повреждено 50-75%; 5 баллов – повреждено свыше 75% растений; баллом 0 отмечают отсутствие больных растений.

Основными болезнями зерновых культур являются ржавчина, пыльная и твердая головня, корневые гнили, фузариоз колоса; картофеля – парша, фитофтороз.

Учет повреждения растений вредителями. Проводится аналогично.

Основными вредителями на зерновых культурах являются злаковые тли, пшеничные трипсы, шведская и озимая мухи, зерновая совка; на картофеле – колорадский жук; на свекле – свекловичная блошка, долгоносик; на кукурузе – щелкуны, шведская муха, озимая совка.

Борьбу с вредителями проводят химическими препаратами.

Фенологические наблюдения. Фенологические наблюдения необходимы во всех агрономических опытах, включая и агрохимические. Цель их заключается в установлении различий в росте и развитии растений в период вегетации по отдельным вариантам, времени наступления фаз развития растений. Фенологические наблюдения помогают объяснить причины положительного и отрицательного действия удобрений на урожайность культур.

За начало фазы принимают первый день, в который она зарегистрирована не менее чем у 10% растений, а за массовое наступление – день, в который отмечена не менее чем у 75% растений. Наблюдения за наступлением фаз записывают в полевой журнал, а обобщенные данные в дальнейшем используют при написании отчетов.

У яровых зерновых культур отмечают следующие фазы: всходы, кушение, выход в трубку, колошение (выметывание), цветение, молочная, восковая и полная спелость.

У озимых зерновых культур: всходы, появление третьего листа, кушение, конец осенней и начало весенней вегетации, выход в трубку, колошение, цветение, молочная, восковая и полная спелость.

У кукурузы: всходы, появление третьего листа, кушение, выметывание метелок, цветение початков, молочная, восковая и полная спелость.

У гречихи: всходы, ветвление, образование соцветий, цветение, созревание.

У картофеля: всходы, образование соцветий, конец цветения, увядание ботвы.

В опытах с удобрениями наступление фаз на делянках сравнивают с контрольным или фоновым вариантом. Одновременно учитывают и общее состояние растений (окраску, рост, полегание, изреженность и т.д.).

Исследования почв и растений на содержание элементов питания, агрофизических свойств также приурочивают к наступлению фенофаз.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие фенологические наблюдения проводят в опыте?
2. Какие вы знаете методы учета поврежденных растений болезнями и вредителями?
3. Как проводят учет перезимовки озимых культур и многолетних трав?
4. Как отбирают почвенные образцы до закладки опыта и в период вегетации?
5. Как отбирают растительные образцы в период вегетации?
6. Как отбирают растительные пробы для определения структуры урожайности?
7. Что показывает структура урожайности?
8. Какие вы знаете способы расположения вариантов и повторений?
9. Как влияют на точность опыта площадь, форма и расположение делянок?
10. Как подготавливают и рассчитывают дозы удобрений на делянки?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрочвоведение. Под ред. В.Д. Мухи – М.: КолосС, 2004. – 528 с. - ISBN5-9532-0047-1.
2. Минеев, В.Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. :КолосС ; М. : МГУ, 2004. - 719 с. – ISBN 5-9532-0253-9. - ISBN 5-211-04795-8.
3. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.
4. Практикум по земледелию / И.П. Васильев, А.М. Туликов, Г.И. Баздырева. – М.: КолосС, 2005. – 424 с. - ISBN 5-9532-0141-9.
5. Терпелец, В.И. Учебно-методическое пособие по агрофизическим и агрохимическим методам исследования почв / В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 65 с.
6. Щеглов, Д.И. Методы исследования физических свойств почв / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин, Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 27 с.
7. Щеглов, Д.И. Физико-химические методы исследования почв / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин,

Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2007. – 31 с.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Корчагин, А.А. Физика почв: лабораторный практикум / А.А. Корчагин. – Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2011. – 211 с.

ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ В АГРОХИМИИ

3.1. Виды лизиметров

Усвоение питательных веществ почвы и удобрений зависит от поступления и распределения атмосферных осадков по профилю почвы. Для каждой сельскохозяйственной культуры имеются свои критические периоды в потреблении влаги, недостаток ее приводит к снижению урожайности. Средние показатели распределения осадков по месяцам в большинстве своем создают лишь видимость достаточной обеспеченности влагой, так как они часто не совпадают с максимальной потребностью растений.

На многих почвах (дерново-подзолистых, серых лесных, оподзоленных и выщелоченных черноземах) тяжелого гранулометрического состава промачивание до 100 см и более происходит только весной от тающего снега, осенние осадки увлажняют почву на меньшую глубину. Летние осадки увлажняют только верхние горизонты почвы, не проникая глубже 50 см.

Без достаточного увлажнения почвы переход в жидкую фазу из твердой элементов питания как самой почвы, так и закрепленных катионов удобрений не происходит. При избыточном увлажнении наблюдается вытеснение кислорода из почвенных пор, что отрицательно сказывается на развитии не только корневой системы, но и самого растения. К тому же переувлажнение почвы приводит к потерям элементов питания в результате вертикальной миграции и горизонтального смыва.

Процессы накопления, передвижения в почве влаги, а вместе с ней и питательных элементов тесно взаимосвязаны и рассматриваются как основные факторы, влияющие на формирование урожая.

Лизиметрический метод исследования позволяет с помощью специальных сооружений изучать процесс просачивания воды и растворенных в ней питательных веществ через определенный слой почвы. Кроме того, с помощью лизиметров можно глубоко изучить естественное плодородие различных типов почв, транспирационные коэффициенты растений, изменение плодородия почв в результате применения удобрений, потери питательных веществ в газообразном состоянии.

И.С. Кауричев, А.Д. Манько, Л.Н. Чумакова, А.С. Фалькович и др. ученые отмечают исключительно важное значение лизиметрического метода в почвоведении при изучении влияния водорастворимых органических веществ (ВОВ) почвы на процессы мобилизации и трансформации питательных веществ. Известно, что ВОВ входят в состав корневых выделений растений, при избыточном увлажнении могут выделяться из гумусовых веществ. С помощью ВОВ группы живых организмов эффективнее трансформируют и усваивают биофильные элементы из рассеянного и труднорастворимого состояния. Все перечисленные свойства ВОВ сказываются не только на мобилизации питательных элементов почвы, но и на участии растений в фитоценозах и в миграции элементов по профилю почвы.

Впервые лизиметрический метод исследования применил англ. химик Джон Дальтон (1766-1844) при изучении распределения атмосферных осадков и их влияния на грунтовые воды.

Термин «лизиметр» - в пер. с греческого означает «растворение». Само сооружение, устройство, прибор, с помощью которого учитывают количество просочившейся воды и питательных веществ, называют *лизиметром*.

В России первые лизиметры были сооружены и использованы при изучении количества и химического состава фильтрующихся вод (Вильямс, 1900; Ключев, 1900; Баранов, 1903).

Расположение лизиметров и дополнительные устройства к ним должны отвечать следующим основным требованиям:

1. Возможность вести наблюдения в условиях, близких к окружающей природной обстановке, поэтому лизиметры вкапывают в грунт, уровень почвы в них должен совпадать с поверхностью окружающей местности.
2. Для проведения сравнительных исследований, получения достоверных данных, опыты в них должны проводиться в нескольких повторениях, а поэтому нужно иметь несколько лизиметров, которые располагают группами, чаще всего в два ряда с определенным расстоянием между ними.
3. Для сбора стекающих вод на дне лизиметра должны находиться дренаж и трубопроводы с выводом и подземный коридор, где находятся приемники. Коридор должен иметь естественное освещение, позволяющее вести наблюдения днем и ночью. Подземное помещение должно быть изолировано, чтобы избежать попадания воды и резких колебаний температур.
4. В зависимости от цели работы опыты могут проводиться как в парующих лизиметрах, так и в занятых растениями.
5. Для учета атмосферных осадков рядом с лизиметрами устанавливают дождемер.
6. Лизиметры устанавливают недалеко от лаборатории, чтобы избежать перевозок больших объемов жидкости и обеспечить срочное проведение химических исследований.

По способу наполнения почвой лизиметры подразделяют на два основных типа: с почвой естественного строения и лизиметры с насыпной почвой.

В первом случае в лизиметры берут почву с сохранением всех или большинства генетических горизонтов, во втором – почву после просеивания набивают в лизиметры послойно с сохранением генетической последовательности горизонтов.

По особенностям конструкции лизиметры бывают бетонные, кирпичные, металлические, пластмассовые, лизиметрические воронки, колонки и др.

3.2. Миграция элементов питания почвы и удобрений

На подвижность питательных веществ почвы и удобрений в лизиметрах влияют складывающиеся в них условия. Немаловажное значение при этом имеют вид и формы применяемых удобрений. Количество вымываемых удобрений находится в прямой зависимости от их растворимости и просочившейся воды, а также от характера взаимодействия питательных элементов удобрений с другими составными частями почвы.

Без этого нельзя составить представление о балансе питательных элементов при разработке системы удобрения.

Длительные исследования зарубежных и отечественных ученых в XX в. Показали, что передвижения катионов и анионов в почве при гигроскопической влажности не происходит.

Если влажность почвы относится к категории пленочной, передвигающейся под влиянием молекулярных сил от более влажных слоев почвы к более сухим, то питательные вещества удобрений могут передвигаться как в направлении движения воды, так и против него.

Большая часть питательных элементов передвигается в почве с гравитационной водой, причем это может происходить в двух направлениях: при полном насыщении капилляров водой и дальнейшем увлажнении вниз по профилю, а при отсутствии осадков и испарении влага и питательные вещества могут подниматься к поверхности почвы.

Подвижность катионов и анионов удобрений неодинакова ввиду различной поглотительной способности их почвами. Отрицательное физическое поглощение наблюдается при взаимодействии почвы с нитратами, хлоридами, поэтому подвижность их с почвенной влагой бывает высокой.

Подвижность нитратов и хлоридов велика и потому, что анионы азотной и соляной кислот не поглощаются химически, так как не образуют нерастворимых в воде соедине-

ний с катионами кальция, магния, калия, алюминия, железа, аммония.

Анионы угольной и серной кислот с одновалентными катионами образуют растворимые в воде соли, а с двухвалентными катионами кальция и магния – нерастворимые.

Анионы фосфорной кислоты с одновалентными катионами образуют хорошо растворимые соли, с двухвалентными катионами – растворимые, малорастворимые и нерастворимые в воде соли.

Большая часть калия удобрений закрепляется физико-химически и находится в обменно-поглощенном состоянии. Он способен переходить в почвенный раствор при вытеснении его другими катионами как самой почвы, так и вносимых удобрений. Однако передвижение калия с влагой почвы происходит значительно медленнее, чем нитратов и хлоридов.

В агрохимических исследованиях на протяжении длительного времени большое влияние уделяли миграции нитратов. Это связано, прежде всего, с тем, что ученые стремились найти пути увеличения коэффициентов использования азота удобрений. Только с применением стабильного изотопа ^{15}N выяснилось, что на почвах тяжелого гранулометрического состава потери азота в газообразном состоянии составляют 30-50%, что в несколько раз выше, чем потери при вымывании. Вторая причина столь пристального внимания к нитратам связана с влиянием их на окружающую среду (загрязнение грунтовых вод, воздуха, сельскохозяйственной продукции). Однако при грамотном использовании азотных удобрений загрязнения не происходит.

С помощью лизиметрических опытов установлен механизм передвижения катионов и анионов в почве под воздействием атмосферных осадков, который зависит от гранулометрического состава, типов лизиметров, наличия растительности, времени года.

Результаты исследований в лизиметрических опытах дают представление о возможных потерях элементов питания в процессе миграции в глубокие подпахотные слои почвы.

Это приходится учитывать при выборе доз, видов, форм, сроков и способов внесения удобрений в почву.

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите о значении лизиметрического метода в агрохимии.
2. Расскажите о конструкции лизиметров.
3. Какие требования предъявляют к лизиметрам.
4. В чем сходство и различие полевых и лизиметрических опытов?
5. Какие требования предъявляют к почвам, используемым в лизиметрах?
6. Как складывается водный баланс в лизиметрах?
7. Как передвигаются катионы и анионы удобрений в лизиметрах?
8. Как используют результаты лизиметрических опытов при составлении системы удобрения?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. - ISBN 5-9532-0145-1.
2. Практикум по земледелию / И.П. Васильев, А.М. Туликов, Г.И. Баздырева. – М.: КолосС, 2005. – 424 с. - ISBN 5-9532-0141-9.
3. Терпелец, В.И. Учебно-методическое пособие по агрофизическим и агрохимическим методам исследования почв / В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 65 с.
4. Щеглов, Д.И. Методы исследования физических свойств почв / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин, Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 27 с.
5. Щеглов, Д.И. Физико-химические методы исследования почв / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин, Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2007. – 31 с.

Дополнительная

1. Бараков, П.П. Лизиметры и их роль в изучении свойств почвы, обуславливающих ее плодородие / П.П. Бараков // Почвоведение, 1908. - №3. – т. X. – С. 173-284.
2. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
3. Корчагин, А.А. Физика почв: лабораторный практикум / А.А. Корчагин. – Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2011. – 211 с.
4. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, О.А. Амелянчик, Т.Н. Большева, Н.Ф. Гомонова, Е.П. Дурынина, В.С. Егоров, Е.В. Егорова, Н.Л. Едемская, Е.А. Карпова, В.Г. Прижукова. - М.: Изд-во МГУ, 2001. — 689 с.- ISBN 5-211-04265-4

ВЕГЕТАЦИОННЫЙ МЕТОД И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ, СВОЙСТВ ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЙ

4.1. *История развития вегетационного метода*

Вегетационный метод исследований был разработан как агрохимический с целью изучения питания растений, оценки усвояемости питательных элементов почвы и удобрений. Использование вегетационного метода относится к далекому прошлому. Выращивание растений в сосудах и наблюдение за ними проводили давно. Первые описания исследований были сделаны в Брюсселе Ван Гельмонтом около 1629 г. Выращивая иву в сосудах, наполненных просушенной почвой, и поливая ее дождевой водой, он пришел к заключению, что основным фактором в жизни растений является вода. Ван Гельмонт не учел участия минеральных веществ почвы и CO_2 воздуха в питании растений, что привело к неверному выводу.

В середине XVII в. вегетационные опыты ставят Дигби, Глаубер, Бойль, которые считали, что основным фактором в жизни растений является селитра, т. е. азот.

В 1699 г. появились работы английского ученого Джона Вудворда, который сделал сообщение о том, что растениям необходимы земляные вещества, которые впоследствии назвали зольными.

В середине XVIII в. в химической науке широко господствовала теория Флогестона, основателями которой были Артур Юнг и Франциска Хом. Эти ученые пришли к выводу, что растениям необходимо не одно, а несколько зольных веществ.

В 1804 г. французский ученый Теодор де Соссюр ставит вегетационные опыты с дистиллированной водой и добавлением к ней различных солей. Постановкой методически выдержанных вегетационных опытов он утвердил теорию минерального питания.

Соссюра считают основоположником научной агрономической и экспериментальной методики.

В середине XIX в. в агрономической науке прочно утвердилась теория минерального питания благодаря таким видным ученым, как Буссенго, Вигман, Польсторф, Горстмар, Либих. Наиболее яркой личностью в агрохимической науке является Буссенго. Ставя полевые и вегетационные опыты с 1834 г. в своем хозяйстве Бехельбронн (Германия, район Эльзас), он получил ответ на вопрос, какие соединения в почве непосредственно усваиваются растениями.

Неоценимый вклад внес Буссенго в вопрос об азотном питании растений, в частности об усвояемости свободного азота атмосферы.

Сакс впервые вырастил растения до полного созревания с использованием питательных смесей в водных культурах.

Клопом и Гельригелем впервые разработана методика песчаной культуры с использованием своих питательных смесей, как и в водной культуре Сакса, позволяющих вырастить растения до полного созревания.

Разработка методики почвенных культур и широкое распространение метода связаны с деятельностью Паула Вагнера.

В России инициатором и пропагандистом вегетационного метода считают К.А. Тимирязева. По личной инициативе К.А. Тимирязева в 1872 г. в Петровской (ныне Московской) сельскохозяйственной академии был построен первый вегетационный домик.

И.С. Шулов разработал метод изолированного питания растений, который позволяет учитывать, в какой мере растворение питательных веществ почвы и удобрений осуществляется самим растением.

И.С. Шулов разработал метод стерильных культур, позволяющий выращивать растения без участия микроорганизмов.

И.Г. Дикусар разработал методику текучих растворов, позволяющих выращивать растения на питательных смесях с разным или постоянным значением рН.

Большой вклад в развитие вегетационного метода в конце XIX в. внес П.С. Коссович. В домике, построенном под его руководством в Сельскохозяйственной химической лаборатории Санкт-Петербурга, он ставил опыты в текучих растворах.

В 1902 г. в известиях Московского сельскохозяйственного института вышла работа Н.К. Недокучаева «Вегетационный метод в агрономии», которая содержала исторический очерк о вегетационном методе, а также схемы, рекомендации и методические указания по постановке вегетационных опытов.

В 1909 и 1912 гг. А.Г. Дояренко издал «Краткое руководство к постановке вегетационных опытов с примерными сметами и оборудованием». Первые руководства, написанные Н.К. Недокучаевым и А.Г. Дояренко, длительное время оставались основными в научной работе физиологов и агрохимиков.

На основании обобщения зарубежного и отечественного опыта в 1938 г. выходит книга А.В. Соколова, А.И. Ахромейко и Е.Н. Панфилова «Вегетационный метод».

В 1968 г. опубликована книга З.И. Журбицкого «Теория и практика вегетационного метода».

Работы по использованию вегетационного метода ведутся и по сей день.

Вегетационный метод — исследование, проводимое с растениями, при выращивании их в сосудах, в строго контролируемых условиях для изучения действия отдельных изолированных факторов или их сочетания на урожай растений и его качество.

Вегетационные опыты чаще всего проводят в вегетационныхдомиках, специально построенных из металлического каркаса со стеклянными стенами и крышей. Вегетационные домики должны хорошо освещаться и вентилироваться.

Сосуды с растениями помещают на вагонетки, которые по рельсам в ясную погоду выкатывают на открытый воздух, под металлический каркас, обтянутый сбоку и сверху металлической сеткой для защиты растений от повреждения птицами. Иногда в вегетационных опытах растения выращивают в специальных металлических или пластмассовых сосудах с поддонниками для сбора избытка влаги, попадающей в сосуды с атмосферными осадками. В этом случае сосуды с растениями помещают не в домике, а на специально сделанных стеллажах, находящихся под проволочной сеткой, натянутой на металлический каркас.

При вегетационном опыте создается возможность более строгого учета и регулирования таких факторов жизни и роста растения, как влажность, температура, освещение, а в некоторых модификациях вегетационного опыта (песчаные и водные культуры) также и питательной среды.

Вегетационный опыт позволяет добиваться большей точности результатов, чем полевой опыт.

С помощью полевого опыта не всегда удастся провести достаточно необходимое расчленение сложного явления, чтобы лучше понять отдельные стороны процесса взаимодействия между почвой, растением и удобрением.

Более глубокое познание любого сложного явления позволяет лучше управлять им в интересах человека.

Вегетационные опыты, проводимые в различных модификациях, предоставляют экспериментатору широкие возможности для вычленения и глубокого изучения отдельных вопросов питания растений и применения удобрений.

Такой метод применяют для решения многих вопросов в агрохимии, физиологии, почвоведении, экологии, растениеводстве и других областях сельскохозяйственной науки.

Д.Н. Прянишников считал, что в агрохимии «... задачей вегетационного метода является вскрытие существа процессов и уяснение значения отдельных факторов, прежде всего роли растения, почвы и удобрения в условиях, наиболее благоприятных для выявления этой роли».

3.И. Журбицкий отмечал, что вегетационный метод очень подходит для изучения более тонких различий в реакции растений на разные внешние воздействия, для расчленения влияния отдельных факторов роста и для получения возможно более выровненных растений для любых исследований.

В зависимости от характера и темы изучаемого вопроса вегетационный метод используют в разных модификациях: почвенные, песчаные, водные культуры, метод текучих растворов, изолированного питания и стерильных культур.

4.2. Почвенные культуры

Основными объектами для исследований в почвенных культурах являются почва и растение. Почвенные культуры широко используются агрохимиками, почвоведомы, физиологами, земледельцами и растениеводами. Агрохимики и почвоведы рассматривают почву в вегетационных опытах как источник питательных элементов для растений, как естественную среду, действующую на удобрения, в результате чего изменяется химический состав самой почвы и удобрений в процессе питания растений.

Проведение вегетационных опытов с почвенной культурой позволяет глубоко изучить естественное и искусственное плодородие почвы, дать сравнительную оценку плодородия типов, подтипов, их разновидностей, изучить эффективность видов и форм удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от почвенных условий, решать и другие вопросы.

В почвенных культурах раскрывается сущность взаимодействия удобрений с почвой, выясняется значение особенностей почвы, при этом индикатором на эти процессы остается растение. Только оно дает объективную картину в оценке негативных и позитивных процессов, происходящих в той или иной почве.

Схемы вегетационных опытов зависят от задач, которые стоят перед исследователем. Они могут быть самыми разнообразными и в большинстве согласуются со схемами полевых опытов или в измененном состоянии дополняют их.

Основным требованием при построении схем вегетационных опытов является соблюдение принципа единственного различия. Это означает, что варианты схемы должны отличаться между собой только одним показателем, напр., дозой или формой удобрения. При сравнении плодородия почв варианты могут отличаться по содержанию элементов питания в них, кислотности, гумуса, по гранулометрическому составу и другим показателям.

В вегетационных опытах с почвенной культурой дозы минеральных удобрений рассчитывают, исходя из массы абсолютно сухой почвы, вмещающейся в него.

Удобрения в сосуды можно вносить и по средним рекомендованным дозам.

Расчет доз удобрений первым способом более точен, так как позволяет рассчитать дозу применительно к взятому объему сосуда, изменять дозы удобрений в широких пределах, легче рассчитать баланс элементов. Установлено, что для нормального развития зерновых культур достаточно использовать сосуды, вмещающие 5 кг почвы, а для пропашных (картофеля) как минимум 15 кг.

Рассчитанная доза удобрений на абсолютно сухую массу почвы дает более объективное представление об изменениях почвенной кислотности при постановке опытов с дозами извести.

Для снижения гидролитической кислотности на 1 мг-экв./100 г почвы расходуется 50 мг CaCO_3 . Зная содержание кислотности и объем почвы в сосуде, можно точно рассчитать дозу CaCO_3 на 1 сосуд.

Так, на сосуд, вмещающий 5,5 кг сухой почвы с гидролитической кислотностью 5,0 мг-экв./100 г почвы, дозу извести рассчитывают по формуле:

$$D_{\text{CaCO}_3} = 50 \times 10H_x \text{мг},$$

где 50 – количество мг-экв.;

CaCO_3 – необходимое для нейтрализации 1 мг-экв. гидролитической кислотности;
10 – коэффициент перевода 100 г почвы в 1000 г (1 кг);
 H_f – гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г почвы;
 $m=5,5$ – масса абсолютно сухой почвы в сосуде, кг.

Для взятого примера доза извести равна $50 \times 10 \times 5,5 \times 5$ или 13750 мг на сосуд.

Дозу минеральных удобрений в физической массе на сосуд рассчитывают в зависимости от объема сосуда, взятой дозы удобрения в действующем веществе и содержания питательного элемента в удобрении.

Напр., для зерновой культуры взяты сосуды 20x20 см, вмещающие 5 кг абсолютно сухой почвы. Доза азота в действующем веществе 0,5 г, в качестве удобрения используют аммиачную селитру с содержанием 34,5% азота. В опыте с одинаковой дозой аммиачной селитры занято 20 сосудов.

Доза аммиачной селитры на сосуд (X) составляет:

34,5- 100

0,5 – X

$$X = \frac{0,5 \times 100}{34,5} = 1,45 \text{ г}$$

Для 20 сосудов необходимо запастись 29 г ($1,45 \times 20$) аммиачной селитры.

Исходя из логического рассуждения, формула расчета дозы минерального удобрения в физической массе на сосуд может иметь следующий вид:

$$X = \frac{a \times 100}{b}$$

где X – доза удобрения в физической массе, г/сосуд;

a – доза удобрения в действующем веществе на 1 сосуд;

100 – коэффициент пересчета процента в г;

b – процент действующего вещества в удобрении.

4.2.1. Подготовка почвы.

Почва для вегетационного опыта может быть взята с контрольных делянок полевого опыта, при этом экспериментатор должен хорошо знать тип, подтип, гранулометрический состав, агрохимические показатели почвы. На поле почву берут лопатами с пахотного слоя, перевозят почву к вегетационному домику навалом в тракторной тележке, подложив под нее полиэтиленовую пленку, бумагу или брезентовый полог. Сверху почву укрывают таким же материалом.

С опытных делянок почву берут из разных мест небольшими порциями так, чтобы не нарушить строение пахотного слоя делянки и не образовать ям и западин. Недопустимо брать почву с делянок, на которые удобрения были внесены недавно. В мешки кладут этикетки с обозначением номера делянки и агрохимических показателей.

Количество необходимой почвы для вегетационного опыта определяют с учетом числа сосудов и их емкости. Принимая во внимание возможные потери при транспортировке и хранении, почвы берут на 20-30% больше расчетного количества. Для набивки сосудов наиболее пригодна почва влажностью 18-20% тяжелосуглинистого и глинистого и 14-16% супесчаного гранулометрического состава. У вегетационного домика почву высыпают на свободной площадке на пленку и закрывают бумагой и пленкой. Почву из мешков можно не вываливать.

Почва должна хорошо распадаться в руках на мелкие комочки. Переувлажненную почву следует подсушить на открытом воздухе.

Перед набивкой в сосуды почву следует тщательно перемешать и просеять через сито с диаметром отверстий 3-5 мм. Отбрасывают крупные комки, гальку, пожнивные остатки, корни и червей. Просеянную почву еще раз перемешивают, отбирают среднюю пробу в трехкратном повторении

- в заранее просушенные и взвешенные бюксы на влажность;
- в цилиндры для определения полной влагоемкости;
- в коробки для агрохимического анализа.

Влажность и влагоемкость должны быть определены не ранее чем за сутки до закладки опыта. Эти показатели необходимы для определения абсолютно сухой массы почвы и установления поливной нормы сосудов.

При достаточном количестве рабочей силы подготовку почвы и набивку 80-100 сосудов можно провести за один рабочий день.

Для постановки вегетационных опытов с почвенной культурой можно использовать сосуды Митчерлиха и Вагнера. Сосуды состоят из двух частей: собственно сосуда и поддона. Сосуды могут быть различной высоты и диаметра: 15x20 см, 15x30, 20x20 см. в такие сосуды вмещается 5-7 кг почвы. В днище сосудов имеется отверстие (прорезь) для стока просочившейся воды. Воду, попавшую в поддон, выливать нельзя – она должна идти на полив повторно.

В сосудах Митчерлиха можно проводить опыты с зерновыми культурами, гречихой, горохом, льном, столовыми корнеплодами.

Перед набивкой сосуды тщательно моют водопроводной водой, а при постановке опытов с микроэлементами – дистиллированной. Для каждого опыта подбирают сосуды одинаковой массы, высоты и диаметра.

4.2.2. Набивка сосудов.

При набивке сосудов почву взвешивают, навески переносят в таз, вносят удобрения и тщательно перемешивают руками.

Азотные и калийные удобрения можно вносить в виде порошков, гранул и в растворенном состоянии. Навески сухих удобрений насыпают в пакетики за 1-2 дня до набивки, на них указывают вариант схемы опыта, вид, форму удобрения и массу навески в граммах. Число пакетиков с удобрениями должно соответствовать числу сосудов с удобряемой почвой.

Если удобрения вносят в растворе, то брать навески в пакеты нет необходимости. В лаборатории отвешивают одну общую навеску, по массе равную сумме однозначных вариантов, и растворяют в небольшом объеме воды. На один сосуд с тяжелосуглинистой или глинистой почвой достаточно 30-50 мл раствора удобрения, для песчаных и супесчаных – 15-20 мл. Напр., если навеска аммиачной селитры на один сосуд равна 1,45 г, то для всех 20 сосудов она составит 29 г, которые растворяют в 1450 мл воды. В дальнейшем для каждого сосуда мерным цилиндром или пипеткой отмеряют по 50 мл раствора и вносят в почву.

Навески с азотными и калийными удобрениями могут быть растворены в одном объеме воды и внесены в один прием. В почву без удобрений вносят дистиллированную воду, равную по объему вносимому раствору удобрений в изучаемых вариантах.

Слаборастворимые и нерастворимые в воде удобрения вносят в сухом виде.

Количество почвы, вносимой в сосуд, устанавливают пробной набивкой. Почву из таза переносят в сосуд в 3-4 приема горстями, каждый раз уплотняя ее согнутыми пальцами. Уплотненная в сосуде почва не должна высыпаться при опрокидывании сосуда.

При правильно выбранной навеске почвы и после набивки поверхность ее в сосуде должна находиться на 2-3 см ниже края сосуда.

Наполненные почвой сосуды имеют свой номер, который обозначают черной краской. Варианты, номера сосудов и другие показатели заносят в журнал в определенном порядке.

Набивать сосуды следует с контрольных вариантов, т.е. с тех, в которые не вносят удобрения.

4.2.3. Посев и посадка растений.

Зерновые и бобовые культуры высевают пророщенными семенами на глубину 1,5-2,0 см. на сосуд 20x20 см высевают 20-25 семян зерновых, 15-20 семян бобовых, 5-7 кукурузы, 3-5 столовых корнеплодов. При посеве очень удобно лунки для семян делать специально подготовленным маркером. Он представляет собой деревянный круг с шипами (зубьями), его диаметр на 0,5-1 см меньше диаметра сосуда. При надавливании маркера на поверхность почвы на ее поверхности остаются лунки нужной глубины, в которые пинцетом вносят наклюнувшиеся семена.

Проращивание семян проводят в противнях, плоских блюдах – растильнях, которые тонким слоем настилают чистый кварцевый песок, увлажняют дистиллированной водой и покрывают фильтровальной бумагой. На фильтровальную бумагу кладут семена и снова прикрывают бумагой. Чтобы уменьшить испарение воды, посуду прикрывают стеклом. Оптимальная температура для проращивания – 28-30⁰С. Чтобы ускорить проращивание, посуду с семенами ставят в термостат.

Посеянные семена заделывают легким надавливанием на них ладонью, после чего почву засыпают чистым кварцевым песком, при этом на сосуд его расходуют 200 г. песок необходим для предохранения почвы от потери влаги и от размывания поверхности при поливе.

После посева сосуды закрывают листами бумаги.

После появления первых всходов бумагу снимают. Количество высеваемых семян должно быть больше необходимого числа растений к уборке на случай гибели всходов или молодых растений. В сосудах 20x20 см в фазе двух листьев зерновых культур оставляют 15-20 растений, зернобобовых – 10-15, кукурузы – 2-3, корнеплодов – 1 растение на сосуд. Все удаляемые растения оставляют на поверхности почвы в сосуде.

Для получения достоверных результатов урожайности в вегетационном опыте достаточно иметь 3-4-х кратную повторность вариантов. Если программой предусмотрено проведение анализов растений и почвы в период вегетации, то повторность может быть увеличена до 8-10-кратной, при этом в назначенные сроки проводят удаление одного сосуда, т.е. исключение одной повторности.

Растения у прикорневой шейки срезают ножницами, кладут в пакет и высушивают в подвешенном состоянии в вегетационном домике, на стеллажах сушильного сарая или в сушильных шкафах. Почву из сосуда высыпают на лист бумаги, фанеру, пленку, перемешивают, раскладывают тонким слоем, после чего методом квартования берут средний образец массой 300-500 г.

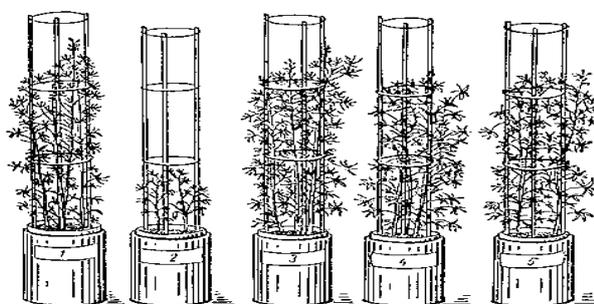


Рис. 1 – Сосуды для выращивания растений.

Для предохранения растений от полегания в сосуды вставляют проволочный каркас, между рейками которого натягивают нитки.

При появлении болезней и вредителей обработку растений пестицидами проводят одновременно во всех сосудах, включая и те, в которых повреждения не обнаружены.

4.2.4. Полив сосудов.

В опытах с минеральными удобрениями полив всех сосудов проводят до одинаковой влажности почвы. Точно установить количество воды для полива можно, если известны влажность почвы в момент набивки и полная влагоемкость ее.

В зависимости от возраста и вида растений, температуры воздуха потребность в воде растет, а, следовательно, и количество воды на сосуд бывает различным. Как правило, во время созревания воды расходуется меньше, чем в фазе цветения или трубкования.

В прохладные дни полив сосудов проводят один раз в день рано утром. В жаркие дни сосуды поливают дважды: утром и вечером.

Поливную массу, до которой необходимо поливать сосуды, вычисляют следующим образом:

1. До набивки определяют полную влагоемкость (55%) и влажность почвы (18%).
2. В сосуд 20x20 см вмещается 6 кг почвы с естественной влажностью 18%. Следовательно, абсолютно сухой почвы в сосуде 4,92 кг и 1,08 кг воды.
3. Определяют процент воды при увлажнении почвы до 60% полной влагоемкости:

55 - 100

X - 60

$$X = \frac{55 \times 60}{100} = 33\%$$

Это составит 1,62 кг воды на 1 сосуд к массе абсолютно сухой почвы:

4,92 - 100

X - 33

$$X = \frac{4,92 \times 33}{100} = 1,62 \text{ кг}$$

Масса почвы в сосуде с влажностью 33% составит $4,92 + 1,62 = 6,54$ кг. Следовательно, не хватает до 33% воды $6,54 - 6,0 = 0,54$ кг.

Поливная масса складывается из массы сосуда, массы почвы с влажностью в день набивки, массы песка, массы каркаса и массы недостающей воды.

Если принять массу сосуда равной 1 кг, массу каркаса 100 г, массу песка 200 г, то ПМ будет равна $1 + 6 + 0,2 + 0,1 + 0,54 = 7,84$ кг.

При поливе сосуды ставят на весы и приливают столько воды, сколько требуется до установления поливной массы.

Для выравнивания условий освещения и нагревания сосудов при поливе проводят перестановку их местами: средние выставляют на края, а крайние ставят в середину.

4.2.5. Уборка и учет урожайности.

Уборку и учет урожайности проводят при полном созревании растений. Дни уборки и учета урожайности отмечают в журнале. Растения срезают на расстоянии 1-2 см от поверхности почвы и подсчитывают число продуктивных и непродуктивных растений, стеблей, колосьев, стручков, измеряют высоту растений, длину колосьев, стручков, метелок и т.д. затем растения с каждого сосуда помещают в пронумерованные бумажные пакеты. После обмолота определяют массу зерна и соломы. Кроме надземной массы путем отмывки на ситах можно определить и массу корней.

Данные урожайности обрабатывают дисперсионным методом, определяют относительную ошибку и достоверность полученных результатов.

В растениях могут быть определены показатели качества, содержание питательных веществ, а на основании урожайности и содержания элементов питания – вынос и коэффициенты их использования из удобрений и почвы.

4.3. Водные и песчаные культуры

Песчаные и водные культуры широко используют для разнообразных физиологических и агрохимических исследований: выявления действия отдельных элементов на рост и развитие растений, на ход биохимических процессов в растении, изучения различных факторов роста, установления антагонизма и синергизма между различными элементами питания, изучения взаимодействия между корневой системой и питательными веществами, процессов поступления питательных элементов в растения, решения многих вопросов физиологии и агрохимии.

Основной вопрос о том, какие элементы необходимы для нормального роста и развития растений, в каких формах и количествах, решался с помощью песчаных и водных культур в 40-е годы XIX в.

Первые питательные смеси, созданные Кноппом, Гельригелем, Горстсмаром, Саксом, Прянишниковым, содержат всего 7 основных элементов. Дальнейшее совершенствование вегетационного метода привело к созданию более сложных питательных растворов, включающих до 30 элементов.

Усвоение растениями питательных элементов из удобрений в почвенной, песчаной и водной культурах существенно различается. Это связано с тем, что распределение питательных веществ в почве не аналогично распределению их в песке и воде. В песке и особенно в воде во всех местах сосуда создается более или менее одинаковая концентрация питательных элементов. В песчаных и водных культурах возникают более благоприятные условия использования растениями питательных веществ, они теснее соприкасаются с корневой системой, не вступают в обменную реакцию с элементами ППК.

Неравномерность распределения удобрений в почвенной культуре, химическое, биологическое, физико-химическое поглощение затрудняют поступление питательных веществ, поэтому коэффициенты использования их из удобрений в песчаной и водной культуре выше, чем в почвенной. Таким образом, основное отличие песчаных и водных культур от почвенных заключается в однородности питательной среды, имеющей слабую абсорбционную способность и незначительную химическую активность.

К различиям следует отнести и тот факт, что при постановке опытов с песчаной и водной культурами нет и не может быть чистого варианта без удобрений, т.е. нулевого или абсолютного контроля, ибо в отличие от почвенной культуры растения в варианте без удобрений не развиваются и гибнут в начале роста.

А.В. Соколов и другие ученые отмечали, что вопрос о том, является ли какой-либо элемент необходимым для жизни растений, можно решить в условиях водных культур.

Когда же надо выяснить, является ли удобрение усвояемым для растений, и в каком количестве в зависимости от pH, концентрации, вида растений и других факторов, то ответ можно получить при постановке опытов с песчаной культурой.

Но если надо выяснить, можно ли данное химическое соединение считать удобрением, ответ может дать опыт с песчаной культурой.

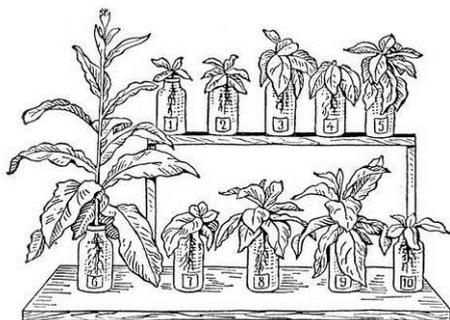


Рис. 2 – Водные культуры

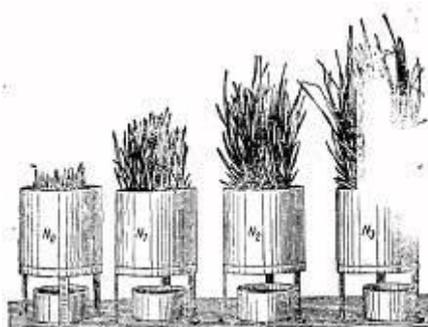


Рис. 3 – Песчаные культуры

4.3.1. Питательные смеси и их состав.

При приготовлении питательных смесей большое значение имеет форма удобрений, так как от нее зависят свойства раствора и его реакция (рН).

Учитывая слабую физиологическую кислотность NH_4NO_3 Д.Н. Прянишников впервые предложил использовать азотнокислый аммоний вместо азотнокислого кальция и азотнокислого натрия. Введение в раствор азотнокислого аммония способствует поддержанию реакции раствора (рН) на более постоянном уровне.

Из форм фосфорных удобрений используют растворимые однозамещенные соли $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, KH_2PO_4 , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, NaH_2PO_4 , $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ и др. соли кальция, магния и натрия обладают физиологической щелочностью.

В отдельные смеси могут вводиться двузамещенные соли калия и натрия, которые сильно изменяют среду в сторону подщелчивания.

Д.Н. Прянишников в своей смеси использовал двузамещенный фосфат кальция (преципитат), который имеет рН = 8. Сочетание преципитата и азотнокислого аммония (физиологически кислой соли) создает слабокислую реакцию среды с рН = 6,5-6,8. Питательная смесь Д.Н. Прянишникова пригодна для песчаной культуры и непригодна для водной. В водной культуре фосфор преципитата используется слабо, так как в этих условиях на преципитат действует очень слабая концентрация азотной кислоты и он трудно переходит в водорастворимую форму.

В питательные смеси может вводиться трехзамещенный фосфат кальция – нерастворимая соль, которая практически не усваивается растениями. Назначение ее заключается в предохранении питательного раствора от подкисления.

Из калийных удобрений чаще используют KCl и K_2SO_4 . С сернокислым калием вносят два макроэлемента (калий и серу) и не вводят хлор. Поэтому при приготовлении питательных смесей все исследователи отдают предпочтение этой соли в сравнении с хлористым калием.

Основной солью, содержащей кальций, является гипс.

Магний вносят в виде $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Железо вносят в виде солей FePO_4 , $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeSO_4 , FeCl_3 , комплексных соединений, содержащих железо.

Питательные смеси должны содержать серу, ее обычно достаточно, если в смеси использован гипс или другие соли (сульфат аммония, сульфат калия).

Большинство сельскохозяйственных культур развиваются при нейтральной реакции среды. Создать такую среду в песчаных и водных культурах довольно трудно, еще труднее обеспечить физиологическую уравновешенность питательного раствора с оптимальным рН в течение всей вегетации, так как реакция постоянно изменяется вследствие неодинакового поглощения растениями катионов и анионов солей и выделения углекислоты при дыхании корней. Подобранные химически нейтральные соли в процессе питания могут становиться физиологически кислыми или физиологически щелочными.

Подкисление раствора в песчаных культурах может происходить в результате нитрификации аммонийных азотных удобрений, под воздействием различных микроорганизмов (аммонификаторов и нитрификаторов).

На интенсивность поглощения элементов растениями влияет концентрация солей в растворах. Она выражается в граммах элемента и в милли-молях, миллиграмм-эквивалентах солей на 1 л.

Из предложенных питательных смесей в XIX в. и начале XX в. наименьшей концентрацией солей обладали смеси Д.Н. Прянишникова и Гельригеля – около 2 мг-экв/л, большинство же содержало 25-40 мг-экв/л. В настоящее время смеси, используемые в гидропонике, содержат 150-200 мг-экв/л солей.

При сравнении роста и развития растений в водных и песчаных культурах установле-

но, что при любых концентрациях растения лучше развиваются в водных культурах благодаря более близкому прикосновению корневой системы к питательным веществам и воде.

Для роста и развития немаловажное значение имеет и соотношение элементов, которое в процессе питания динамично и зависит в большей степени от вида культуры. Каждая культура требует свойственное ей соотношение питательных элементов, изменяющееся по периодам от всходов до созревания даже в течение одного дня.

Подбирая состав питательного раствора, учитывая соотношение элементов питания применительно к фазам вегетации, можно ускорять рост растений и повышать урожайность.

Более чем за столетний период предложено очень много составов питательных смесей. Они различаются по количеству элементов, их соотношениям, видам используемых солей и другим показателям. Каждый автор предложенных смесей стремился к тому, чтобы его смесь удовлетворяла всем требованиям растений и могла способствовать получению высокой урожайности с хорошим качеством. Приготовить единую универсальную питательную смесь, отвечающую требованиям всех растений, пока никому не удалось. Тем не менее, на предложенных питательных смесях можно вырастить растение до полного созревания, создавая ему благоприятные условия тепла, воздуха, освещенности и влажности (для песчаных культур).

4.4. Метод изолированного питания

При проведении опытов в песчаных и водных культурах питательные вещества, песок, вода и корневая система находятся в постоянном соприкосновении и взаимодействии. Установить в отдельности влияние этих факторов на рост и развитие растений не представляется возможным.

Применение метода изолированного питания в агрохимических исследованиях дает возможность выращивать растения при разделенной корневой системе в одном или нескольких сосудах при подаче отдельным частям (прядам) различных сочетаний питательных элементов.

Метод изолированного питания при разделении корневой системы на две или более прядей позволяет давать им любые сочетания элементов питания и выявлять их влияние на рост корневой системы и самого растения.

Метод изолированного питания впервые был детально разработан в лаборатории Д.Н. Прянишникова в 1913 г. И.С. Шуловым. В качестве субстрата для изолированных культур можно использовать воду, песок, почву, а также их комбинации.

Песчаные, водно-песчаные, песчано-почвенные культуры проводят в обычных цилиндрических, прямоугольных или квадратных стеклянных сосудах, разделенных перегородками на две или несколько частей или вставляемых один в другой. При этом высота внутреннего сосуда должна быть ниже внешнего не менее чем на 2-3 см (рис. 4).

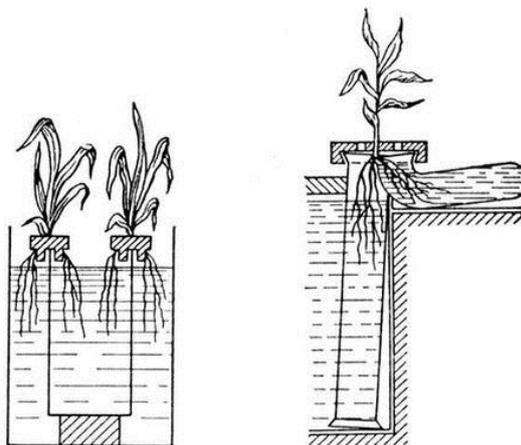


Рис. 4 – Выращивание культур методом изолированного питания.

Если изучают изолированное поступление более двух питательных веществ, то внутренних сосудов может быть несколько. Более удобными для таких опытов являются специально изготовленные сосуды из стекла или оцинкованной жести. Объем таких сосудов делят перегородками на секторы.

Чтобы при наполнении песком или питательной смесью внешнего сосуда ничего не попало во внутренний, его закрывают кружком картона.

Высаживают растения, как и в водной культуре, с длинной корневой системой – не менее 4-5 см. в сосудах с песком в крышке делают специальные пробки из дерева или пластмассы с отверстиями для растений. Такие пробки закрепляют на краю внутреннего сосуда. В сосудах с водной культурой таких пробок должно быть больше: для растений, трубки и каркасных палочек.

В изолированных песчаных и почвенных культурах в сосуд высаживают по 8-10 растений злаковых, гречихи, по 1-3 растений кукурузы, подсолнечника, корнеплодов; в водных культурах – не более 3-5 злаковых и по одному корнеплодов, кукурузы и подсолнечника.

Использование метода изолированного питания позволило выяснить ряд важнейших вопросов агрохимии: участие фосфора преципитата и фосфоритной муки в питании растений, влияние физиологически кислых удобрений на растворимость и усвояемость фосфатов удобрений и почвы, действие корневых выделений на растворимость фосфатов.

4.5. *Метод текучих растворов*

В процессе питания растений в песчаных и водных культурах происходит изменение концентрации и реакции питательного субстрата. Изменение реакции среды обусловлено тем, что растения, обладая избирательной способностью, в разные периоды роста поглощают неодинаковое количество катионов и анионов, в большей степени это касается азотных удобрений.

Для создания условий питания при постоянной реакции среды выращивают растения в сосудах с протекающими питательными растворами. По существу это одна из модификаций вегетационного метода, получившая название «метод текучих растворов».

Метод был предложен в 1928 г. И.Г. Дикусаром, который на сахарной свекле и кукурузе начал изучать поступление NO_3 , NO_2 и NH_4 при различных значениях pH раствора.

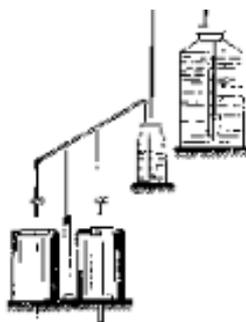


Рис. 5 – Установка для выращивания растений с протекающим питательным раствором

В большой бутылки находится питательный раствор, который по стеклянной трубке (по методу сообщающихся сосудов) подается в маленькую бутылку. Из маленькой бутылки раствор подается к сосудам с растениями. Скорость вытекания раствора регулируют двумя зажимами.

В качестве субстрата для наполнения сосудов чаще используют песок. В днищах сосудов имеются отверстия для вытекания воды. Таким образом, устройство позволяет орошать корневую систему растения постоянно протекающим питательным раствором при неизменном значении pH.

В настоящее время предложено много устройств для подачи питательных смесей, некоторые из них более совершенны, чем те, которые применял И.Г. Дикусар.

В опытах с текучими растворами расходуется большее количество дистиллированной воды. За весь период вегетации только для одного сосуда ее требуется около сотни литров.

4.6. Метод стерильных культур

Постановка вегетационных опытов с песчаными и водными культурами позволила решить ряд важных вопросов в агрохимии и физиологии растений. Основными из них являются установление потребности растений в элементах питания, значения концентрации солей, реакции среды, форм удобрений и др. Установлено, что химический состав питательной смеси изменяется во времени; это связано, прежде всего, с поглощением катионов и анионов растениями. Большое влияние на превращение всех элементов в питательной смеси оказывают микроорганизмы, корневые выделения растений, физиологически активные вещества (витамины, ауксины, гиббереллины, фитонциды, антибиотики), попадающие вместе с удобрениями, песком, водой и семенами в питательную среду.

Метод стерильных культур предусматривает постановку вегетационных опытов при полном исключении микроорганизмов и других активных веществ в питательной среде.

В разработку метода стерильных культур большой вклад внесли П.С. Коссович, И.С. Шулов, М.Ф. Федоров и др. С помощью метода стерильных культур сделан ряд важных и интересных открытий, в частности доказана возможность использования растениями азота аспарагина, фосфора лецитина и фитина, изучены роль корневых выделений растений, значение микроорганизмов и физиологически кислого сульфата аммония при усвоении P_2O_5 из фосфоритной муки.

Опыты с выращиванием растений в стерильных культурах в сравнении с песчаными и водными культурами более сложны, так как для различных видов растений требуются свои специфические сосуды, пробки, трубки, устройства для подачи воздуха и питательной смеси. Все составные части таких вегетационных опытов требуют тщательной стерилизации как в период подготовки, так и в процессе выращивания растений. Стерилизации также подлежат высаживаемые пророщенные семена.

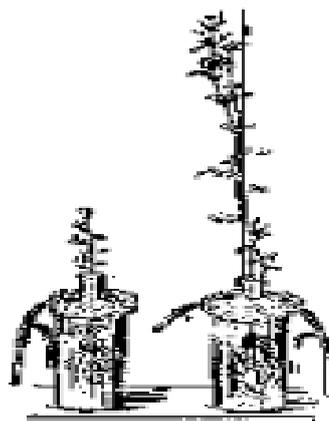


Рис. 6 –Стерильные культуры

Для стерильных культур удобнее конические колбы, горло колбы должно быть небольшим, но достаточным для того, чтобы плотно закрывалось пробкой и позволяло высаживать и выращивать растения (рис. 6). Колбы для выращивания растений соединяют резиновыми трубками с колбами с питательными растворами, отверстия для доступа воздуха закрывают стерильной ватой.

Питательный раствор можно наливать в сосуд единожды или в несколько приемов. По мере поступления элементов питания в растения и расхода воды на транспирацию сосуды регулярно доливают дистиллированной стерилизованной водой.

Сосуды с растениями прикрывают чехлами для предотвращения нагревания раствора, корневой системы и попадания на них солнечных лучей. Стерилизацию семян проводят растворами брома (0,5-1%), перекиси водорода (5-12%), сулемы (0,01%), семена при этом выдерживают в растворах в течение 10-15 мин.

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите о значении вегетационного метода в агрохимических исследованиях.
2. В чем сходство и различие вегетационного и полевого опыта?
3. Расскажите о развитии вегетационного метода за рубежом и в нашей стране.
4. Какие вопросы решают с помощью почвенной культуры?
5. Расскажите о подготовке почвы для вегетационных опытов.
6. Какие сосуды используют при постановке вегетационных опытов с почвенными культурами?
7. Расскажите о подготовке сосудов и технике набивки в опытах с почвенной культурой.
8. Какие удобрения используют в вегетационных опытах с почвенной культурой и как рассчитывают их дозы?
9. Как устанавливают поливную массу в вегетационных опытах?
10. Расскажите о сопутствующих исследованиях в вегетационных опытах с почвенной культурой.
11. Расскажите о способах учета урожайности в вегетационных опытах.
12. Расскажите о задачах и методике опытов с песчаными культурами.
13. Расскажите о задачах и методике опытов с водными культурами.
14. Расскажите о питательных смесях для водных и песчаных культур.
15. Какие вопросы решают с помощью методики текучих растворов?
16. Какие вопросы решают с помощью методики изолированного питания?
17. Какие вопросы решают с помощью методики стерильных культур?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрочвоведение. Под ред. В.Д. Мухи – М.: КолосС, 2004. – 528 с. - ISBN5-9532-0047-1.

2. Кобзаренко, В.И. Методика полевого и вегетационного опытов / В.И. Кобзаренко, В.Ф. Волобуева, И.В. Серегина, А.Ф. Слипчик, И.Н. Батура. – М.: МСХА, 2004. – 44 с.
3. Минеев, В.Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. :КолосС ; М. : МГУ, 2004. - 719 с. – ISBN 5-9532-0253-9. - ISBN 5-211-04795-8.
4. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.
5. Практикум по земледелию / И.П. Васильев, А.М. Туликов, Г.И. Баздырева. – М.: КолосС, 2005. – 424 с. - ISBN 5-9532-0141-9.
6. Терпелец, В.И. Учебно-методическое пособие по агрофизическим и агрохимическим методам исследования почв / В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 65 с.
7. Щеглов, Д.И. Методы исследования физических свойств почв / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин, Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2005. – 27 с.
8. Щеглов, Д.И. Физико-химические методы исследования почв / Д.И. Щеглов, Ю.И. Дудкин, Х.А. Джувеликян. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 2007. – 31 с.
9. Ягодин, Б.А. Вегетационный метод исследования / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков, В.Ф. Волобуева, О.Л. Янишевская. – М.: МСХА, 2007. – 71 с.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
3. Корчагин, А.А. Физика почв: лабораторный практикум / А.А. Корчагин. – Изд-во Владимирского гос. ун-та, 2011. – 211 с.
2. Матюк, Н.С. Приемы возделывания и уборки полевых культур / Н.С. Матюк, В.Д. Полин, И.В. Горбачев, О.А. Савоськина. – М.: Изд-во МСХА, 2005. – 127 с.

АНАЛИЗ РАСТЕНИЙ КАК МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ИХ ПИТАНИЯ И ПОТРЕБНОСТИ В УДОБРЕНИЯХ

5.1. Назначение анализа растений

Химический анализ растений – один из основных приемов агрохимического анализа, без которого невозможно решить многие вопросы агрохимии. Начиная с 40-х годов XIX в. анализ растений стал входить как обязательный прием агрохимических исследований в практику производственных и научных агрохимических лабораторий. Многие методы агрохимического анализа признаны классическими и остаются до настоящего времени без изменений. Незначительные изменения коснулись лишь формы и объема химической посуды, использования катализаторов, совершенствования измерительных приборов и сопровождающего анализ оборудования.

Однако в последние 50 лет появилось много методик, нового оборудования и приборов, позволяющих определять в растениях микроэлементы, тяжелые металлы, органические соединения, радионуклиды, остаточные количества пестицидов и другие соединения. Анализ растений в агрохимических исследованиях применяют:

- для изучения влияния почвы и удобрений на биохимические процессы, протекающие в растении в период питания;
- для определения биологического и хозяйственного выноса элементов питания почвы и удобрений, установления коэффициентов использования питательных элементов;
- для оценки качества растениеводческой и овощеводческой продукции;
- для установления питательной ценности растительных кормов;
- в целях растительной диагностики питания растений и установления доз удобрений, вносимых в качестве основного удобрения и в виде подкормок.

5.1.1. Анализ растений для изучения влияния почвы и удобрений на биохимические процессы

При изучении влияния видов, доз, форм, сроков и способов внесения удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур выявить их позитивное или негативное действие без анализа растений, проводимого в процессе вегетации, не представляется возможным. *Анализ растений* показывает, как и в каком количестве происходило изменение элементов питания по фазам развития, в отдельные периоды роста или времени года. При выборе оптимальных соотношений элементов питания в растениях всегда происходит увеличение их в сравнении с вариантом без удобрений.

Установлено, если разница в содержании элементов питания в растениях контрольного варианта и варианта с удобрениями невелика или отсутствует, это свидетельствует о высоком и достаточном количестве элементов в почве или о том, что усвоение элементов питания удобрений по каким-то причинам не происходило (отсутствие осадков в весенне-летний период, повышенные температуры воздуха, мелкая или слишком глубокая заделка удобрений и др.).

Концентрация элементов в тканях растений может находиться в прямой зависимости от скорости нарастания массы и скорости поступления элементов. Если прирост массы опережает, концентрация элементов уменьшается.

Большое значение анализ растений имеет при установлении возможности внесения минеральных удобрений под урожай будущего года с осени, т.е. заблаговременно. Осеннее использование удобрений позволяет сократить напряженный период весенне-полевых работ.

При несбалансированном питании растений, т.е. высоком содержании одного или не-

скольких элементов, но при низком содержании других, возможна и иная закономерность, т.е. содержание элементов в растениях может опускаться до контрольного варианта. Таким образом, изменяя химический состав растений посредством удобрений и других факторов, влияющих на рост и развитие их, можно создать благоприятные условия для прохождения обмена веществ, химических реакций и повысить урожай и его качество.

5.1.2. Анализ растений для определения выноса элементов питания

Хозяйственный вынос – это вынос элементов основной и побочной продукцией, напр., зерном и соломой зерновых, ботвой и клубнями картофеля.

Биологический вынос – это вынос питательных элементов из почвы всеми частями растений, включая основную и побочную продукцию, корни, опавшие листья.

Определив вынос элементов из почвы, можно судить о потенциальном плодородии, о возможности почвы обеспечить растения питательными веществами. Вынос элементов питания урожаем рассчитывают в кг, ц или т с 1 га. Более объективное и точное суждение получают на основании биологического выноса. Однако определить его значительно труднее, поэтому в практике часто судят о плодородии почвы по хозяйственному выносу. Неучтенные питательные вещества опавших стеблей, листьев и корней остаются в почве и в конечном итоге после минерализации участвуют в питании растений.

Анализ растений по фазам развития позволяет установить не менее важный агрохимический показатель – *критический период* питания растений, связанный с максимальным потреблением элементов.

Зная химический состав растений, урожайность культуры (основной и побочной продукции), дозу внесенного удобрения, можно определить разностным методом коэффициенты использования питательных элементов из удобрения.

Напр., урожайность яровой пшеницы в варианте без удобрений – 18 ц/га зерна и 30 ц/га соломы; в варианте с азотом в дозе 60 кг/га – 28 и 35 ц/га соответственно. Содержание азота в зерне на контроле 2,2%, в соломе 0,4%; в варианте с азотом соответственно 2,5 и 0,5%. Умножая содержание азота (%) на урожайность (ц/га), получим вынос его зерном и соломой. На контроле – $18 \cdot 2,2 + 30 \cdot 0,4 = 39,6 + 12,0 = 51,6$ кг/га; в варианте с азотом – $28 \cdot 2,5 + 35 \cdot 0,5 = 71,1 + 17,5 = 88,6$ кг/га. Разница выноса между 2-ым и 1-ым вариантами показывает величину выноса азота из удобрений: $88,6 - 51,6 = 37$ кг/га. Составив пропорцию, определим коэффициент использования азота из удобрений. В нашем примере КИУ, % = $37 \cdot 100/60 = 62$.

Коэффициенты использования питательных элементов из удобрений, рассчитанные разностным методом, применяют при расчете доз удобрений на планируемую урожайность, разработке эффективного баланса, при прогнозировании потребности в элементах. Однако этот метод не позволяет судить о трансформации элементов в почве и растении, структуре потерь в газообразной форме азота, поглощении и фиксации почвой азота, фосфора и калия. Последние можно установить на основании химического анализа в опытах с изотопными метками.

5.1.3. Анализ растений для оценки качества сельскохозяйственной продукции

Основными органическими соединениями, характеризующими качество растениеводческой и овощеводческой продукции, являются белок, жир, сахара, крахмал, клетчатка, витамины, органические кислоты, эфирные масла, алкалоиды и др. Органические вещества накапливаются в семенах, плодах, листьях, стеблях, корнеплодах, и других органах растений. Содержание их может меняться в широких пределах в зависимости от вида, сорта растений, почвенно-климатических условий, минерального питания. Минеральные и органические удобрения – один из основных факторов, влияющих на процессы биосинтеза органических веществ в растениях.

Общепринятым методом определения белка в растениях является метод Барнштейна, жира – по Сокслету, сахара – по Бертрану или поляриметрически, крахмала – поляриметрически или объемным методом, сырой клетчатки – по Геннебергу и Штоману, клейковины – путем отмучивания.

В настоящее время кроме стандартных химических методов определения качества сельскохозяйственной продукции широко используют инструментальные методы: спектрофотометры, хроматографы, аминокислотные анализаторы и др.

При усиленном азотном и фосфорном питании более интенсивно проходит биосинтез белков и других азотистых веществ. При рациональном использовании азотных удобрений содержание белка в зерне зерновых культур может повышаться на 0,5-3,0%.

Для полной оценки качества белка зерновых культур требуется определение его аминокислотного состава, а также отдельных групп свободных аминокислот и содержание незаменимых кислот.

Повышенное калийное и фосфорное питание резко усиливает биосинтез и накопление углеводов в овощных культурах, жиров – в масличных культурах.

Применение удобрений на картофеле может повысить урожайность, но снизить содержание крахмала в клубнях.

При несбалансированном питании, в частности усиленном азотном питании и недостатке фосфора, калия и микроэлементов, содержание углеводов и витаминов снижается, тормозится процесс восстановления нитратов до аммиака и амидов, что приводит к накоплению их в продукции. Слабая освещенность растений, низкая температура воздуха и почвы также замедляют процесс восстановления нитратов. Поэтому в весенний период во многих овощах содержание их выше, чем в продукции, собранной летом и осенью.

Содержание нитратов зависит также от вида и сорта растений. Много нитратов накапливается в зеленных культурах, меньше в плодовых и практически не накапливают зерновые.

Допустимые уровни содержания нитратов в рационе питания человека в пищевых продуктах устанавливает санитарно-эпидемиологическая служба в соответствии с определенными исследованиями и расчетами, допустимой суточной дозой нитратов для человека, определением доли нитратов, поступающих в организм с пищей, водой, продуктами питания, входящими в рацион, регламентацией допустимого содержания нитратов в отдельных пищевых продуктах.

Выращенная продукция с содержанием нитратов свыше ПДК считается некачественной и пригодна для употребления в небольших количествах. Потребляемое их количество в сутки вместе с водой, овощами, картофелем и другими продуктами не должно превышать для взрослого человека 300-325 мг, а для детей 100 мг.

При анализе растениеводческой и овощеводческой продукции на содержание нитратов важно выбрать наиболее подходящую методику их определения. Как показывают исследования, более точным и надежным методом является колориметрический с использованием дисульфифеноловой кислоты. Ионметрические и всевозможные экспресс-методы надежных результатов не дают. Средняя проба овощных и картофеля должна быть не менее 10-20 кг с 1 т анализируемой продукции.

5.2. Основные методы анализа растений

Методы химического анализа растений в агрохимии подразделяют на следующие основные группы: 1) методы анализа зольных элементов; 2) методы определения различных форм азотистых соединений (белковый, небелковый, аммиачный, амидный, аминный, азот различных аминокислот); 3) методы определения общего фосфора и различных форм соединений (минеральный кислоторастворимый, органический липидов и фосфатидов, фосфор белковых и нуклеиновых кислот); 4) методы определения органических соединений (белки, жиры, углеводы, витамины, алкалоиды, эфирные масла).

В практических целях и научно-исследовательской работе агрохимии наиболее часто определяют из зольных элементов фосфор, калий, магний, кальций; из азотистых соединений общий, белковый и нитратный азот.

Содержание тех или иных органических соединений зависит от вида растений, условий выращивания и минерального питания. Для зерновых культур основным органическим соединением является белок, для картофеля – крахмал, свеклы – сахара, капусты – витамины, сахар и т.д. Для определения азота, зольных элементов органических веществ используют свежий и сухой растительный материал.

5.2.1. Подготовка и озоление растительного материала

Подготовка заключается в проведении следующих основных операций: 1) взятие первоначальной пробы сырой массы в поле или хранилищах, сухой сыпучей продукции (зерно, семена, комбикорма); 2) высушивание образцов; 3) измельчение; 4) взятие аналитической навески; 5) хранение анализируемого материала.

При отборе проб в поле преследуют одну цель – учесть всю неоднородность растений на нем и чтобы все растения, попавшие в выборку (пробу), могли охарактеризовать общее состояние растений с достаточно высокой точностью и надежностью.

Установлена прямая зависимость между массой отобранных для анализа растений и точностью определения. Чем больше берут исходного материала, тем выше вероятность получения надежных и точных результатов. Немаловажное значение имеет повторность химического анализа.

Методика отбора растений в полевых условиях рассматривалась в лекции 1.

Химическому анализу растениеводческую продукцию подвергают во время транспортировки и хранения, перед реализацией потребителю на пищевые и кормовые цели, перед переработкой на муку, комбикорма, крахмал, сахар, спирт и т.д. методики отбора проб носят индивидуальный характер в зависимости от вида продукции, объема ее и условий перевозки и хранения. Наиболее часто анализируют зерно. Из него получают не только хлебобулочные, но и макаронные изделия, спирт, комбикорма.

Пробы зерна из автомашин отбирают щупом в 4-х точках кузова с поверхности и дна. В вагонах пробы отбирают в 5-10-ти точках по всей глубине.

Первоначально пробы осматривают и сравнивают. При однородности зерна все пробы ссыпают в чистую тару. Если общая проба зерна до 2 кг, то ее принимают за среднюю. Если общая проба больше 2 кг, ее перемешивают, раскладывают тонким слоем на клеенке и делят по диагонали. При этом два противоположных треугольника удаляют, а зерно из двух оставшихся разравнивают вновь и делят по диагонали. В результате такого деления получают среднюю пробу массой около 1 кг.

Сухие и свежие образцы перед анализом измельчают. Из измельченного материала легче взять среднюю пробу для анализа. Измельчение растительного материала проводят в два этапа. Сначала растения ножницами измельчают на отрезки по 0,5-1,5 см, затем его подсушивают в термостате при температуре 70⁰С до такого состояния, при котором растения хорошо крошатся, обычно в течение 30 мин. Далее высушенную массу измельчают на мельнице до такой степени, чтобы весь материал прошел через сито с диаметром 1 мм. Отбрасывание крупных частиц, оставшихся на сите, недопустимо. Их размалывают до конца повторно. Измельченный материал хранят в стеклянных банках с притертой или плотно закрывающейся крышкой.

Озоление растительного вещества. Определение азота и зольных элементов. При определении азота и зольных элементов в растениях можно использовать как свежий, так и высушенный материал. Озоление осуществляют двумя способами: сухим способом при высокой температуре; мокрым способом, в основном концентрированными кислотами.

Сухое озоление проводят при определении в золе фосфора, калия, кальция, магния, железа, алюминия, кремния, марганца и некоторых тяжелых металлов.

При определении в золе фосфора, калия и натрия озоление проводят с большой осторожностью, не допуская высокой температуры в муфельной печи. При температуре свыше 500⁰С фосфорная кислота с углем может восстанавливаться до свободного фосфора, а калий и натрий в форме хлоридов – улетучиваться.

Преимущество сухогоозоления состоит в том, что не требуется использование концентрированных кислот и солей.

Навеску измельченного на мельнице материала (в среднем 3-5 г) неплотно укладывают в просушенный и взвешенный тигель и накрывают крышкой. На первой стадии сжигание в вытяжном шкафу проводят при температуре примерно 180⁰С, а после прекращения выделения продуктов перегонки, по истечении 30 мин, приоткрыв крышку, тигель ставят в муфельную печь до полного озоления. Оптимальной температурой считается 400-500⁰С. После озоления тигель прикрывают крышкой, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Содержание золы, %,

$$X^* = \frac{a \cdot 100}{b},$$

где *a* – масса золы, г; 100 – коэффициент для выражения результатов в процентах; *b* – навеска сухого вещества, г.

В результате сухогоозоления получают так называемую «сырую» золу. Сырой золу называют потому, что в ней остается небольшое количество углистых частиц. При сухоозолении органического вещества кальций, магний, калий, натрий образуют карбонаты, а фосфор – однозамещенный фосфат кальция.

Озоление растений мокрым способом. Мокрое озоление более универсально, так как улетучивание фосфорной кислоты и других элементов почти исключено. В разное время разные исследователи (Меркер, Нейман, А.Н. Лебедев, В. Пиневиц, А.М. Мещеряков, Н.М. Майборода, В.Т. Куркаев) предлагали много методов определения элементов. Предложенные модификации отличаются друг от друга. Наиболее точные результаты при ускоренном озолении получают при озолении растительного материала по К.Е. Гинзбургу, который предложил для сжигания использовать концентрированную серную кислоту (5 мл) и 60%-ную хлорную кислоту (0,4 мл) для сжигания одной навески (0,1-0,2 г). После прибавления смеси кислот колбы оставляют на 30-60 мин, затем проводят слабое нагревание в течение 5-7 мин до образования однородной коричнево-бурой массы. После этого температуру повышают и озоление продолжают до полного обесцвечивания, которое наступает примерно через 15-25 мин.

При определении *общего и белкового азота* широко используют сжигание по Кьельдалю (ГОСТ 10846-64). Он считается наиболее надежным, так как потери азота при сжигании исключены.

Фосфор после озоления в растворе можно определить колориметрическим, нефелометрическим и весовым методами. Наиболее точным в анализе растений является колориметрический метод. Его предложил в 1896 г. французский химик Дениже. В качестве красителя он использовал раствор молибденовокислого аммония в присутствии хлористого олова. Другой фр. химик Буватье предложил вместо хлорида олова применять аскорбиновую кислоту.

Калий в растениях можно определять в золе после сухого и мокрого озоления. При сухом озолении не исключены потери калия, который способен улетучиваться в виде хлорида при температуре выше 525⁰С. Поэтому озоление необходимо проводить лишь при слабо-красном калении.

В последние годы химические методы определения калия, как в научной, так и практической работе используются редко, так как они длительные и дорогие.

Надежный, удобный и быстрый – фотометрический метод. При хорошей настройке пламенного фотометра и правильно приготовленной шкале получают точные результаты, не требующие повторного анализа.

Кальций содержится во всех органах растения в виде оксалата кальция, в форме солей

пектиновой, фосфорной и серной кислот. Из растений кальций на 65% может быть извлечен горячей водой и почти полностью слабым раствором уксусной и соляной кислот.

Магний входит в состав хлорофилла, фитина, пектиновых веществ; может находиться и в минеральной форме. Общее содержание магния в растениях примерно в 2 раза ниже, чем кальция. В конце вегетации зерновых культур 80% магния локализуется в зародыше семян. В отличие от кальция вытеснить его водой или раствором кислот полностью не удается.

При определении общего количества кальция и магния проводят сухое или мокрое озоление. Из общего раствора одну половину используют для определения кальция, другую – для определения магния. Агрохимиками разработано много методик определения этих элементов, наиболее широко применяемыми являются оксалатный (объемный, весовой), трилонометрический (объемный, колориметрический), фотометрический, атомно-сорбционный методы.

Сера в растениях содержится в количестве, составляющем десятые доли процента. В растениях она находится как в органических, так и в неорганических соединениях. Сера является составной частью аминокислот, входящих в белок, цистина, цистеина и метионина. Высоким содержанием серы отличаются капустные. Сера в них содержится в виде аллилгорчичного масла и чесночного масла. Озоление растительного материала проводят сухим или мокрым способом, которое проводят в специальной посуде для предотвращения потерь серы в газообразном состоянии.

При массовых определениях серы в растениях удобен метод озоления с реактивом Бенедикта и Дениса при дальнейшем определении серы весовым методом.

Серу можно определить после озоления и объемным методом.

Анализ растительных кормов. При определении питательной ценности кормов проводят химический анализ на содержание сырого белка (протеина), аминокислот, растворимых углеводов, жиров, масла, безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ), клетчатки, сырой золы, кальция, магния, фосфора, витаминов, микроэлементов, нитратов, сухого вещества.

Методы анализов растительных кормов единые. Наиболее распространенными методами являются: определение общего азота по Кьельдалю, белкового азота по Барнштейну, клетчатки по Геннебергу и Штоману, сырого жира по Сосклету, каротина из бензиновой вытяжки колориметрически; хлорофилла из спиртовой вытяжки колориметрически; определение сухого вещества весовым методом; зольности после сухого озоления; фосфора, калия, магния, кальция после сухого или мокрого озоления.

Фосфор в растворе определяют колориметрически, в качестве красителя используют молибдат аммония в присутствии хлорида олова. Кальций в растворе после озоления определяют комплексонометрически с флуорексоном, на пламенном фотометре, атомно-абсорбционным и объемным оксалатным методом. Магний в растворе определяют на пламенном фотометре, атомно-абсорбционным и оксалатно-весовым методом.

Определение аминокислот в растительных кормах проводят на аминокислотных анализаторах, при помощи ионно-обменной хроматографии; нитраты определяют колориметрически с дисульфифеноловой кислотой, ионоселективным и другими методами; витамин С – объемным методом по Мурри; микроэлементы – на атомно-абсорбционных спектрофотометрах.

Систематический контроль за качеством растениеводческой продукции в опытах и общих посевах позволяет агрохимической службе составлять таблицы химического состава и питательной ценности кормов.

6.1. Анализ растений как метод диагностики их питания и потребности в удобрениях

Культурные растения являются самыми надежными индикаторами при оценке плодотворности

родия почв и эффективности удобрений. Продуктивность растений, их химический состав и плодородие почв тесно взаимосвязаны, поэтому химический анализ растений в период вегетации позволяет судить об обеспеченности их элементами питания и прогнозировать урожайность.

Использование анализа растений как способа определения потребности их в элементах питания имеет давнюю историю. Еще в 1804 г. французский физиолог-ботаник Соссюр пытался применить растительный анализ для определения потребности растений в элементах питания, а в середине XIX в. – Ю. Либих. Серьезные методические работы в этом направлении проведены в нашей стране Д.А. Сабининым, А.В. Соколовым, В.В. Церлинг, К.П. Магницким, Н.К. Болдыревым, Ю.И. Ермохиным и другими учеными.

По мнению В.В. Церлинг, наряду с основной задачей установления потребности растений в элементах питания растительная диагностика позволяет решить ряд важных вопросов почвенного плодородия:

- действительную доступность для выращиваемых растений соединений питательных элементов почвы;

- богатство почвы доступными соединениями азота, что трудно определить с помощью почвенных анализов;

- сравнить плодородие разных типов почв одним и тем же методом – анализом одного и того же вида растения, что затруднительно выполнить на основе почвенных анализов из-за значительных различий в методах агрохимических анализов разных типов почв;

- выявить изменения в плодородии почв, вызванные агрохимическими, мелиоративными и другими воздействиями, что трудно учитывается почвенными анализами;

- растительная диагностика характеризует весь корнеобитаемый слой, тогда как почвенные образцы – только лишь места их отбора;

- при крупномасштабном почвенно-агрохимическом картографировании параллельные почвенные и растительные анализы уточняют показатели плодородия почв, так как только растения могут учесть взаимное влияние элементов при их поступлении в корни и при использовании внутри растения;

- только растительный покров – его внешний вид, очаги худших и лучших растений, их химический состав и другие факторы выявляют наиболее полно пестроту почвы и, следовательно, обосновывают приемы ее ликвидации;

растительная диагностика позволяет выявить и объяснить причины получения одинаковых урожаев с разных вариантов опыта, а также различных изменений в растении в течение вегетации;

- получение результатов при проведении растительной диагностики в сочетании с другими данными (анализом почв, полевых опытов и т.д.) позволяет более обоснованно составить систему применения удобрений;

- эти методы помогут выяснить, когда, в какой фазе, изменением каких органов и при каких условиях передвижения внутри растения поступивших элементов создается биологическое качество урожая, т.е. накопление минеральных элементов и форм их соединений в будущем урожае, особенно в его частях, идущих в пищу человека и на корм скоту.

Недостаток одного или нескольких элементов приводит к нарушению биохимических процессов в растении, изменению биометрических показателей и внешнего состояния. Поэтому симптомы недостатков элементов или избытка их в почвенном растворе можно определить и по внешним признакам растения.

6.1.1. Визуальная диагностика

Обеспеченность растений в тот или иной период развития элементами питания опытный агроном легко определит по внешнему виду. К основным признакам недостатка элементов питания относятся: изменение окраски листьев и жилок; слабое развитие всех органов (уменьшение высоты растений, листьев, соцветий, колоса и плодов); деформация

листьев; усыхание и раннее опадение их.

Из перечисленных признаков наиболее характерен первый, по нему делают заключение о нуждаемости растений в элементах питания.

Описание окраски листьев и состояние растений при недостатке питательных веществ в почве.

Азот. Азотное голодание сказывается на развитии всего растения, и его не трудно определить по внешним признакам.

При недостатке азота растение отстает в росте, все его органы слабо развиваются (укороченный стебель, мелкие листья, соцветия, колос, кочаны, клубни). Листья приобретают светло-зеленую и светло-желтую окраску, причем посветление начинается с нижних листьев, постепенно переходя к средним. Посветлевшие нижние листья деформируются, полностью теряют окраску, отмирают и опадают.

При избытке азота все растения, особенно листья, становятся крупными, сочными и имеют яркую темно-зеленую окраску. Наступление фаз сильно растягивается, созревание зерновых, овощных и картофеля запаздывает иногда на месяц. Урожай, собранный с таких полей, плохо хранится.

Недостаток и избыток азота наиболее ярко выражается на огурцах, капусте, кукурузе, картофеле, яровых зерновых, кустарниковых и плодовых культурах.

Фосфор. *Недостаток фосфора* у растений определить более сложно, чем других элементов. Основным признаком является изменение темно-зеленой окраски мелких листьев на красновато-фиолетовую и пурпурную. Растения отстают в росте и развитии, мало образуются соцветий и цветков, они мелкие и могут опадать во время цветения. Урожайность семян снижается за счет их щуплости, овощи и плоды в результате формируются мелкими.

Недостаток фосфора легко обнаруживается на томатах, кукурузе, озимой ржи, корне-плодах, груше, яблоне, крыжовнике.

Калий. Внешним признаком *недостатка калия* является образование на листовых пластинках бурых пятен, которые появляются вначале в периферической части листа, а центральная часть жилок остается зеленой. При этом листовые пластинки и сосудистая система развиваются неравномерно, что приводит к деформации листа. При недостатке калия он может подвергаться реутилизации, т.е. передвигаться из старых листьев в молодые. Старые листья в деформированном виде отмирают и опадают, в то время как молодые остаются зелеными.

Недостаток калия легко обнаружить на картофеле, капусте, свекле, кукурузе, люцерне, яблоне, смородине.

Кальций. При сильном *недостатке кальция* страдает, прежде всего, корневая система – она ослизняется, заболевает и отмирает. На листьях развивается частичный хлороз, т.е. молодые верхние листья желтеют, иногда на них появляются желтые пятна, в то время как старые остаются зелеными. Побеги овощных культур часто изгибаются, поникают, а соцветия отмирают, наблюдается побурение жилок растения и появление на плодах томата сухой гнили.

Окраску листьев при недостатке кальция иногда путают с азотным голоданием, поэтому в визуальной диагностике следует обратить внимание на расположение хлорозных листьев.

Магний. Он является составной частью хлорофилла в листьях. При *недостатке его* на листьях появляются светло-зеленые жилки, иногда по краям листьев и вокруг жилок листа образуются ржавые пятна. Края листьев становятся морщинистыми, а кончики их загибаются. Таким симптомами видны на картофеле, цветной и кочанной капусте. Листья красной и черной смородины при недостатке магния могут приобретать оранжево-красный цвет. Очень часто недостаток магния растения испытывают на кислых песчаных и супесчаных почвах.

Сера. Богаты серой растения семейства капустных, она входит в состав белка зерновых

культур. В почвах, находящихся вблизи промышленных предприятий, содержится большое количество серы, и растения не испытывают в ней недостатка. В отдаленных от промышленной зоны сельскохозяйственных районах, где вносят навоз и минеральные удобрения, не содержащие серу, растения могут испытывать ее недостаток.

Симптомом *недостатка серы* в питании растений является осветление листьев на всем растении. При осмотре растений необходимо не путать серное голодание с азотным и кальциевым.

При *высоком содержании серы* в почве (вблизи нефтеперегонных комбинатов, сернокислых заводов), а также при выпадении ее с кислотными дождями на поверхность почвы и растений на листьях овощных, древесных и кустарниковых культур появляются коричневые пятна неопределенной формы, листья скручиваются и погибают за короткий срок. Если это происходит весной и в первой половине лета, то древесные и кустарниковые культуры погибают полностью.

Железо. В почвах этого элемента бывает достаточно.

Недостаток его можно видеть в условиях теплиц, когда в качестве субстрата при выращивании овощей и цветов используют торф. При недостатке железа листья растений становятся светло-желтыми или совсем белыми. Они приобретают выраженную полосчатость, т.е. чередование темных жилок со светлыми междоузлиями. На овощных культурах заметить недостаток железа сложно, более четко он проявляется на малине и древесных плодовых культурах.

Бор. Принимает участие в углеводном, белковом и нуклеиновом обмене растений. Под его влиянием усиливается накопление сахарозы в корнях свеклы и моркови, витаминов в плодах и овощах. Бор играет важную роль в оплодотворении растений, способствуя формированию полноценных завязей.

При *недостатке бора* междоузлия растений сильно укорочены, иногда отмирает конус роста и верхушка полностью погибает, листья растений темно-зеленые, края их загибаются вниз. Цветки и завязи осыпаются. Особенно ярко недостаток бора проявляется на томате. Корнеплоды свеклы, клубни картофеля становятся дуплистыми. Недостаток бора можно наблюдать также на капусте, льне, озимой ржи, подсолнечнике.

Марганец. На черноземных, серых лесных и дерново-подзолистых слабо-кислых почвах растения недостатка в этом элементе не испытывают. В кислых почвах его много, однако, доступность незначительна, так как он находится в неподвижном двухвалентном состоянии.

В растениях марганец участвует в фотосинтезе, являясь своеобразным катализатором в процессах дыхания растений, в синтезе аскорбиновой кислоты, аминокислот и белков, восстановлении нитритов и нитратов до аммиака.

При *недостатке марганца* на листьях появляется серая пятнистость, происходит усыхание молодых веток у плодово-ягодных культур. Голодание сказывается также на картофеле, капусте, подсолнечнике, зерновых культурах. Пятнистость листьев хорошо заметна на овсе, сахарной свекле (пятнистая желтуха).

Молибден. Входит в состав фермента нитратредуктазы, который участвует в восстановлении нитратов и нитритов до аммиака, и в состав фермента нитрогеназы, способствующего фиксации азота атмосферы бобовыми культурами. При *недостатке молибдена* в растениях нарушается азотный обмен, в тканях может накапливаться большое количество нитратов и нитритов. Чувствительными к недостатку молибдена растениями считают горох, бобы, капусту, шпинат, плодово-ягодные культуры. Симптомы недостаточности молибдена сходны с азотным голоданием, т.е. листья растений приобретают бледно-зеленую окраску, деформируются и отмирают.

Цинк. Влияет на биохимические процессы в растениях, прежде всего на фосфатный режим. *Недостаток цинка* задерживает переход минерального фосфора в органическую форму, т.е. образование нуклеиновых кислот. Цинк влияет также на процессы фотосинтеза. Растения, испытывающие недостаток цинка, более чувствительны к резким колебани-

ям температуры воздуха и почвы, т.е. менее устойчивы к засухе и морозу. При недостатке цинка в растениях снижается содержание сахарозы и крахмала. Чувствительны к недостатку цинка яблоня и вишня. Внешние признаки недостаточности цинка – мелколистность и розетчатость у плодовых деревьев и томата, иногда скручивание листьев и черешков.

6.1.2. Химическая диагностика

Химическая диагностика в отличие от визуальной позволяет определить содержание элементов в растении (в процентах на сухую навеску, в миллиграммах, миллиграмм-эквивалентах в литре сока). По содержанию элементов судят об обеспеченности ими растений. В получении объективных показателей химического анализа важное значение имеет правильный отбор пробы (выборки) из большого числа растений, подвергаемых анализу (генеральной совокупности). Большое значение имеют правильный выбор анализируемого (индикаторного) органа и время отбора проб. Установлено, что более надежные и объективные данные получают при отборе проб в ранние часы, начиная с 7 до 10 ч утра. Индикаторными органами могут служить молодые растения, листья, черешки, верхушки стеблей злаков, молодые побеги кустарников и древесных культур. Элементы структуры урожайности формируются уже в начальные фазы, поэтому, чем раньше проведен анализ, тем скорее можно помочь растению в питании путем внесения удобрений.

В.В. Церлинг отмечала, что в ранние фазы развития различия в способности растений использовать питательные вещества почвы более значительны. Поэтому для учета специфики того или иного растения следует пользоваться показателями содержания элементов в соке растений в ранние фазы, до цветения.

Контроль за питанием растений в защищенном и открытом грунте рекомендуют проводить не менее трех раз за вегетационный период, а на зерновых культурах ограничиваться одним (фаза начала трубкования).

Анализ растений как метод диагностики питания применяют во многих странах, поэтому методики анализа весьма разнообразны. Они отличаются друг от друга в зависимости от используемых реактивов, приборов и оборудования, методики отбора проб и т.д. при этом цель и задачи остаются одинаковыми, они сводятся к определению потребности растений в элементах питания, установлению доз, сроков и способов внесения удобрений.

6.1.3. Определение валового содержания элементов

При валовых анализах растений применяют мокрый способ озоления по К.Е. Гинзбург смесью серной и хлорной кислот, по А.Н. Лебеядцеву смесью азотной и серной кислот, по В.Т. Куркаеву серной кислотой в присутствии пероксида водорода и другие методы. Озоление проводят при подогреве на электрических или газовых плитах. Оптимальной температурой при этом считается 300-330⁰С, при более высокой температуре возможны потери азота, фосфора и калия. После разбавления водой «сырой» золы раствор отфильтровывают.

Азот определяют колориметрически или отгонкой в аппарате Кьельдаля; фосфор – колориметрически; калий – на пламенном фотометре.

Определение оптимальных уровней содержания элементов питания в растениях, использование их при расчете доз удобрений и прогнозирования урожайности более надежны, если учитывается уровень питательных веществ в растениях при любой урожайности. По данным урожайности и содержания элементов по фазам развития рассчитывают коэффициенты корреляции и составляют уравнения регрессии, по которым можно планировать урожайность, откорректировать дозы и время проведения подкормок.

6.1.4. Химический анализ сока растений

Общее содержание элементов питания, определенное после сухого или мокрого озоления, включает органические и минеральные формы соединений в растении. Растворимые минеральные соединения находятся во всех органах растений: корнях, стеблях, листьях. Большинство ученых считают, что определение в соке растения минеральных форм в целях диагностики служит более объективным показателем обеспеченности растений элементами, чем валовый анализ. Для отжима сока растений используют ручной пресс.

Химический анализ сока проводят в полевых условиях, он прост и надежен, так как в работе не требуются концентрированные кислоты и щелочи, а также дорогостоящие измерительные приборы и оборудование. Для проведения такого анализа широко используют переносные или передвижные экспресс-лаборатории В.В. Церлинг ОП-2 и К.П. Магницкого.

Прибор ОП-2 позволяет определить нитратный азот, фосфор и калий на срезах растений, а прибор К.П. Магницкого – в листьях, черешках, стеблях или в срезанном молодом растении. Принцип определения неорганических соединений основан на получении различной окраски при добавлении к ним специальных реактивов. В результате химических реакций минеральные вещества в соке с добавляемыми реактивами образуют окрашенные соединения. Чем интенсивнее окраска, тем больше определяемого элемента находится в растении. Все приборы выпускают с полным набором реактивов, технических приспособлений, а ход анализа подробно описан в сопроводительной инструкции.

Анализ растений в раннем возрасте, до цветения, более объективно показывает потребность их в элементах питания.

Неорганические соединения растений могут определяться как в полевых, так и в лабораторных условиях.

Дозы минеральных удобрений, рекомендуемые для подкормки, могут быть приближенными или равными $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{3}$ дозы, рассчитанной на планируемую урожайность. Растения могут не нуждаться в подкормках, когда их выращивают на окультуренных почвах с высоким содержанием подвижных элементов питания или при внесении оптимальных доз удобрений.

Растительный анализ позволяет уточнить результаты агрохимического обследования почв и более точно рассчитать дозы удобрений под все сельскохозяйственные культуры, провести корректировку среднерекомендуемых или рассчитанных по выносу планируемой урожайностью доз.

Анализ растений позволяет сделать корректировку доз удобрений по формуле:

$$K = \frac{\text{Оптимальное содержание элементов, \%}}{\text{Фактическое содержание элементов, \%}}$$

При достаточном содержании элементов питания в почве K будет равен 1 и растения в удобрении не нуждаются.

При $K > 1$ растения нуждаются в элементах питания и принятую или рассчитанную дозу умножают на этот коэффициент.

При несбалансированном (неуравновешенном) соотношении элементов в растении доза одного из них может быть уточнена относительно другого.

Например, при недостатке азота и избытке фосфора доза азота составит:

$$\text{Доза N} = \text{H} \frac{\text{N1P2}}{\text{N2P1}},$$

где H - доза удобрений, рассчитанная по выносу элементов или по результатам полевых опытов, кг д.в./га;

$N1$ – оптимальное содержание азота в растениях, %;

$P2$ – фактическое содержание фосфора в растениях, %;

N₂ - фактическое содержание азота в растениях, %;
P₁ - оптимальное содержание фосфора в растениях, %.

Подобные корректировки и расчеты можно сделать по любому элементу.

Таким образом, растительная диагностика позволяет определить доступность питательных элементов почвы растениям, установить нуждаемость их в том или ином элементе.

Растительная диагностика дополняет почвенную, она позволяет корректировать дозы удобрений, рассчитанные с учетом почвенного плодородия, погодных условий, биологических особенностей растений и других факторов.

Вопросы для самоконтроля

1. Как используют анализ растений при изучении влияния почвы и удобрений на биохимические процессы в растениях?
2. Произведите расчеты для определения выноса элементов питания урожайностью сельскохозяйственных культур.
3. Какие основные показатели характеризуют качество сельскохозяйственной продукции?
4. Перечислите основные приемы анализа растений.
5. Расскажите о подготовке растительных проб к анализу.
6. Какие способы озоления используют при определении азота и зольных элементов в растениях?
7. Расскажите об основных методиках определения нитратов в растениях.
8. Расскажите об основных методиках определения фосфора в растениях.
9. Расскажите об основных методиках определения калия в растениях.
10. Расскажите об основных методиках определения кальция и магния в растениях.
11. Расскажите об основных методиках определения серы в растениях.
12. Какие основные органические и минеральные вещества определяют при анализе растительных кормов?
13. Когда и с какой целью применяют визуальную диагностику? Назовите основные признаки недостатка элементов питания в растениях.
14. Расскажите о значении и методиках химической диагностики.
15. Как используют результаты химической диагностики при расчете доз удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрочвоведение. Под ред. В.Д. Мухи – М.: КолосС, 2004. – 528 с. - ISBN5-9532-0047-1.
2. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
3. Минеев, В.Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. :КолосС ; М. : МГУ, 2004. - 719 с. – ISBN 5-9532-0253-9. - ISBN 5-211-04795-8.
4. Новикова, Н. Е. Минеральное питание растений и применение удобрений / Н. Е. Новикова, Н. Е. Самсонова.- Орел :ОрелГАУ, 2008. - 199 с. ISBN978-5-93382-071-0.
5. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.

Дополнительная

1. Биоиндикация качества природной среды / Е.А. Нарушева, В.Б. Нарушев. – ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», Саратов, 2011. – 160 с.
2. Ельников И.И. Новые методы диагностики питания растений. // Земледелие, 1987, №9, с. 60-62.
3. Магницкий К. П. Полевой контроль питания растений. – Москва, 1958.
4. Магницкий К. П. Диагностика питания растений по их внешнему виду. – 3 издание. – Москва, 1960.

5. Мотузова, Г.В. Соединения микроэлементов в почвах / Г.В. Мотузова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 168 с.
6. Церлинг В. В. Растение рассказывает о почве. – Москва, 1963.
7. Церлинг В. В. Диагностика питания растений по их химическому анализу. –Москва, 1965.

ДИСПЕРСИОННЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПЫТА

Дисперсионный анализ в биологических исследованиях впервые введен англ. ученым Р.А. Фишером. Основная цель анализа заключается в раскрытии смысла результатов эксперимента, т.е. в определении точности и достоверности исследований. В настоящее время предложено много модификаций метода Р.А. Фишера. В нашей стране наиболее распространены модификации В.Н. Перегудова и Б.А. Доспехова.

В основе дисперсионного анализа (вариации) лежит предположение, что опыт достоверен тогда, когда рассеяние между вариантами (колебания урожайности) больше, чем между повторностями одного варианта. Если изменения урожайности по делянкам от случайных причин превышают изменения, вызываемые факторами, изучаемыми в опыте (виды, формы и дозы удобрений), то такой опыт считается *недостоверным*. Дисперсионный анализ позволяет экспериментатору определить степень влияния факторов в отдельности и суммарного их воздействия на изменчивость изучаемого признака. В опытах с удобрениями таким признаком является урожайность.

В опытах с удобрениями применяют не менее трех повторений и всегда высчитывают среднее из них.

В полевых опытах изменчивость поделаночных урожаев обусловлена тремя факторами (причинами):

- действием изучаемого фактора (удобрения) – рассеяние по вариантам;
- плодородием почвы каждого повторения – рассеяние по повторностям;
- случайными причинами (неточность измерений, неравномерность посевов) – остаточное рассеяние.

Таким образом, на результатах любого сельскохозяйственного опыта помимо изучаемого фактора сказываются пестрота почвенного плодородия, неоднородность действия агротехнических приемов, индивидуальные особенности растений, а также ошибки, возникающие при использовании несовершенных измерительных приборов, машин и техники.

При проведении полевых и вегетационных опытов с удобрениями всегда наблюдается варьирование урожаев параллельных делянок и вегетационных сосудов одноименных вариантов. Причиной такого варьирования являются разного рода ошибки. Различают случайные, систематические и грубые ошибки.

Случайные ошибки – это ошибки, возникающие в результате неоднородности почвенного плодородия, индивидуальной изменчивости растений, случайных механических повреждений растений, поражения растений болезнями. Таких ошибок полностью избежать не удастся; при соблюдении всех агротехнических приемов и требований при постановке опыта их можно свести к минимуму.

Систематические ошибки – в полевом опыте обусловлены различным плодородием почвы опытного участка. Они завышают или занижают урожайность. Различают три типа систематической ошибки: сплошная (захватывает все варианты всех повторений опыта); захватывающая все варианты одного или нескольких повторений; затрагивающая лишь некоторые варианты.

При сплошной систематической ошибке сравнимость результатов не нарушается, хотя сами результаты получаются завышенными или заниженными.

Второй вид систематической ошибки определяется различным плодородием почвы разных повторений опыта, при статистической обработке исключается из общего варьирования.

Систематическая ошибка третьего вида нарушает сравнимость вариантов, делает результаты опыта недостоверными.

Для того, чтобы избежать систематической ошибки, необходимо детальное почвенное и агрохимическое обследование участка, проведение уравнильных на новом месте) и рекогносцировочных (после применения хим. препаратов) посевов.

Грубые ошибки – возникают в результате нарушения основных требований к полевому опыту. Примером грубой ошибки могут служить внесение на делянку неверно рассчитанной дозы удобрений или внесение удобрений дважды на одну делянку, высеив на делянке семян другого сорта и т.д. Такие допущенные ошибки устранить нельзя, испорченные делянки исключают из опыта, в агрономическую и математическую обработку результаты не вносят.

7.1. Дисперсионный анализ в изложении Б.А. Доспехова

1. В таблицу вносят поделяночные урожаи (ц/га, т/га) с точностью до 0,1.

2. Вычисляют суммы: по вариантам опыта (S), по повторностям (P) и общую сумму всех поделяночных урожаев (Q). Последнюю в целях проверки вычисляют дважды: как сумму величин S и как сумму величин P .

$$\Sigma S = \Sigma P = Q.$$

Табл. 1. Влияние доз удобрений на урожайность яровой пшеницы

Вариант опыта	Урожайность по повторностям, ц/га				S	Среднее
	1	2	3	4		
1. Без удобрений	12,8	13,4	11,8	12,7	50,7	12,7
2. P ₆₀ K ₆₀ (фон)	16,2	15,4	14,8	14,6	61,0	15,2
3. Фон + N ₃₀	19,4	20,2	20,8	21,1	81,5	20,4
4. Фон + N ₆₀	26,5	27,4	26,2	27,3	107,4	26,8
5. Фон + N ₉₀	29,2	30,1	28,7	30,8	118,8	29,7
P	104,1	106,5	102,3	106,5	Q=419,4	M=20,9

3. Вычисляют средние по вариантам делением соответствующих значений S на повторность (в нашем случае – 4). Средние выписывают с тем же числом знаков, что и первоначальные данные урожайности. Делением общей суммы урожаев Q на число делянок опыта ($n \cdot l$) получают среднюю урожайность по опыту (M); n – число повторений, l – число вариантов.

$$M = Q : n \cdot l = 419,4 : 20 = 20,9 \text{ (ц/га)}.$$

4. Выбирают произвольное начало, за которое берут среднее значение из максимального и минимального чисел таблицы 1.

$$A \text{ (произвольное начало)} = (11,8 + 30,8) : 2 = 21,3 \text{ (ц/га)}.$$

5. Составляют таблицу 2, куда вносят отклонения поделяночных данных от произвольного начала, ставя знак «-» (минус), если урожайность меньше произвольного начала.

6. Подсчитывают, как и в табл. 1, суммы S – отклонений по вариантам, P – отклонений по повторностям и Q – общую сумму всех поделяночных отклонений. Правильность вычислений проверяют, пользуясь тем, что если к величине S или P (табл. 2) прибавить произвольное начало, умноженное на число суммарных чисел, т.е. на n (повторность) или l (число вариантов), то должны получиться соответствующие значения S и P таблицы 1. Для первого варианта (без удобрений) получим $21,3 \cdot 4 - (-34,5) = 50,7$. Или $21,3 \cdot 4 - (-2,4) = 104,1$. Так поступают с каждым вариантом и повторностью, получая значения S и P таблицы 1. Если цифры не совпадают, проверьте ошибку.

Табл. 2. Отклонения от произвольного начала

Вариант опыта	Повторность				S
	1	2	3	4	
1. Без удобрений	-8,5	-7,9	-9,5	-8,6	-34,5
2. P ₆₀ K ₆₀ (фон)	-5,1	-5,9	-6,5	-6,7	-34,2
3. Фон + N ₃₀	-1,9	-1,1	-0,5	-0,2	-3,7
4. Фон + N ₆₀	+5,2	+6,1	+4,9	+6,0	+22,2
5. Фон + N ₉₀	+7,9	+8,8	+7,4	+9,5	+33,6
P	-2,4	0,0	-4,2	0,0	Q = -6,6

7. Составляют таблицу 3, куда в соответствующем порядке вносят квадраты чисел из таблицы 2. Квадраты всех чисел положительные.

Таблица 3. Квадраты отклонений урожая от произвольного начала

Вариант опыта	Повторность				Σy^2	S^2
	1	2	3	4		
1. Без удобрений	72,25	62,41	90,25	73,95	298,86	1190,25
2. P ₆₀ K ₆₀ (фон)	26,01	34,81	42,25	44,89	147,96	585,64
3. Фон + N ₃₀	3,61	1,21	0,25	0,04	5,11	13,69
4. Фон + N ₆₀	27,04	37,21	24,01	36,00	124,26	492,84
5. Фон + N ₉₀	62,41	77,44	54,76	90,25	284,86	1128,96
Σy^2	191,32	213,08	211,52	245,13	$\Sigma(\Sigma y^2)=861,05$	$\Sigma S^2=3411,38$
P	5,76	0,00	17,64	0,00	$\Sigma P^2=23,40$	$Q^2=43,56$

8. Суммируем квадраты поделочных отклонений по столбцам, т.е. по вариантам и повторениям, которые, в свою очередь, складывают и получают общую сумму квадратов. Для данного примера $\Sigma(\Sigma y^2) = 861,05$. Точно так же суммируют величины S^2 и $\Sigma S^2=3411,38$, величины P^2 для получения $\Sigma P^2=23,40$. Затем возводят в квадрат Q таблицы 3, получая $Q^2 = 43,56$.

9. Полученные данные выписывают в такой последовательности:

$Nl = 4 \cdot 5 = 20$	$\Sigma(\Sigma y^2)=861,05$
$n = 4$	$\Sigma P^2=23,40$
$l = 5$	$\Sigma S^2=3411,38$
	$Q^2=43,56$

Далее определяют:

- сумму квадратов общего рассеяния (C_y) по формуле $[nl \cdot \Sigma(\Sigma y^2) - Q^2] : nl = (20 \cdot 861,05 - 43,56) : 20 = 858,87$;

- сумму квадратов рассеяния повторений (C_p) $(n \Sigma P^2 - Q^2) : nl = (4 \cdot 23,40 - 43,56) : 20 = 2,50$;

- сумму квадратов рассеяния вариантов (C_v) $(l \Sigma S^2 - Q^2) : nl = (5 \cdot 3411,38 - 43,56) : 20 = 850,66$.

При проведении статистической обработки методом анализа рассеяния вводят статистический показатель – число степеней свободы, обозначаемый буквой (Y).

Разделив сумму квадратов отклонений на число степеней свободы, получают средний квадрат, или дисперсию.

Общее число степеней свободы по остатку $Y_{ост.} = nl - l = 4 \cdot 5 - 1 = 19$; для рассеяния повторений $Y_n = n - l = 3$; для рассеяния вариантов $Y_l = l - 1 = 5 - 1 = 4$.

10. Составляют таблицу анализа рассеяния, куда вносят в соответствующие графы

вычисленные результаты сумм квадратов и степени свободы (табл. 4).

Табл. 4. Таблица анализа рассеяния

Вид рассеяния	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	F фактический	F теоретический
Общее (C_y)	858,87	19		452,46	2,9
Повторений (C_v)	2,50	3	$\sigma_y^2 = 212,66$		
Вариантов (C_p)	850,66	4			
Остаточное (C_z)	5,71	12	$\sigma_z^2 = 0,47$		

Остаточное рассеяние (C_z) получают путем вычитания из общего двух последующих, т.е. рассеяния повторений и вариантов ($858,87 - 2,50 - 850,66 = 5,71$).

Степень свободы остаточного рассеяния определяют также путем вычитания из степени свободы общего рассеяния двух последующих ($19 - 3 - 4 = 12$).

Далее находят средний квадрат для вариантов, он равен $850,66 : 4 = 212,66$, а для остатка $5,71 : 12 = 0,47$.

Для установления достоверности действия изучаемых в опыте факторов в целом по опыту находят критерий существенности Фишера (F). Различают F фактический и F теоретический (табличный). Критерий F теоретический равен отношению среднего квадратического отклонения вариантов σ_y^2 к среднему квадратическому отклонению остатка σ_z^2 .

В нашем примере $F_{\text{факт}} = \sigma_y^2 / \sigma_z^2 = 212,66 : 0,47 = 452,46$.

Критерий $F_{\text{факт}}$ сравнивают с F табличным; если $F_{\text{факт}}$ больше $F_{\text{табл}}$, то различия между вариантами опыта будут существенными, тогда следует находить достоверность различий между отдельными вариантами, сравниваемыми между собой. Если $F_{\text{факт}}$ меньше $F_{\text{табл}}$, опыт проведен с большими погрешностями, дальнейшая обработка результатов опыта положительных результатов не даст.

$F_{\text{табл}}$ находят в таблицах Фишера (см. приложения 1,2) на пересечении числа степеней свободы большого квадрата (вариантов, по диагонали) и меньшего квадрата (остатка, по вертикали). Для нашего примера $F_{\text{табл}} = 3,49$, т.е. он намного меньше F фактического, поэтому вычисления основных статистических показателей следует проводить.

11. Для определения относительной ошибки (точности опыта) и наименьшей существенной разницы для установления достоверности вариантов проводят следующие вычисления:

- определяют среднее квадратическое отклонение, которое характеризует ошибку урожая с единичной делянки в среднем по всему опыту:

$$\sigma = \sqrt{Q_z^2} = \sqrt{0,47} = 0,68 \text{ (ц/га);}$$

- находят ошибку средних урожаев в среднем по всему опыту по формуле:

$$m = \frac{Q}{\sqrt{n}} = 0,68 : 2 = 0,34 \text{ (ц/га);}$$

- вычисляют коэффициент вариации, %, который характеризует ошибку единичного наблюдения:

$$V = \frac{Q \cdot 100}{M} = 0,68 \cdot 100 : 20,9 = 3,25;$$

- вычисляют относительную ошибку средней (точность опыта), %, по формуле:

$$m = \frac{m \cdot 100}{M} = \frac{0,34 \cdot 100}{20,9} = 1,6.$$

Опыт считается проведенным с высокой точностью, когда относительная ошибка составляет 1-9%.

Для установления достоверных различий между средними урожаями, и прежде всего между контролем и изучаемыми вариантами, вначале вычисляют ошибку разности по формуле

$$md = m\sqrt{2} = 0,34 \cdot 1,41 = 0,48 \text{ (ц/га)}.$$

Вычисляют наименьшую существенную разницу (НСР) в зависимости от принятого уровня вероятности (0,95 или 0,99). Для полевых опытов уровень вероятности принимают 95%, а для лабораторных – 99%.

Принятый уровень вероятности проставляют в нижнем правом углу индекса НСР (НСР_{0,95}, НСР₀₅, НСР₉₅). Уровень вероятности иногда называют уровнем существенности, его находят в таблицах Стьюдента (приложение 3). Он зависит от числа степеней свободы остатка. Таким образом, наименьшая существенная разница при уровне вероятности 95% для нашего опыта будет выглядеть следующим образом: НСР_{0,95} = $tmd = 2,2 \cdot 0,48 = 1,06$ (ц/га).

В рассматриваемом опыте все варианты достоверны, доказуемы, так как прибавки к абсолютному контролю (без удобрений), фону и даже между вариантами с дозами азотных удобрений превышают вычисленную НСР_{0,95}.

В таблицах с данными урожайности относительную ошибку опыта и наименьшую существенную разницу НСР_{0,95} проставляют внизу колонки с указанием прибавок (в ц/га или т/га).

7.2. Корреляция и регрессия в агрохимических исследованиях

Дисперсионный анализ данных урожайности позволяет определить точность опыта и достоверность (доказуемость) испытываемых вариантов. Не менее важной задачей в исследованиях является установление взаимосвязи урожайности с факторами, влиявшими на нее. *Множественной корреляцией* называют такую, когда исследуют связь урожайности с несколькими факторами, напр., с содержанием азота, фосфора, калия и других элементов в почве.

По форме корреляционная связь может быть прямолинейной и криволинейной, по направлению – прямой и обратной. Под *прямолинейной корреляцией* понимают такую зависимость, когда с увеличением средней величины результивного признака (урожайности) увеличивается средняя величина другого (содержание азота в почве) или, наоборот, с увеличением одного признака уменьшается средняя величина другого. В первом случае величина называется прямой или положительной, во втором – обратной или отрицательной.

При определении тесноты связи в агрохимических исследованиях результивный признак (урожайность) принимают за Y (функция), а признаки, с которыми устанавливают связь, обозначают индексом X (аргумент). Связь между функцией и аргументом выражают уравнением регрессии, или корреляционным уравнением. При простой регрессии уравнение имеет вид $Y = f(x)$, а при множественной $Y = f(x, z, v)$.

Для оценки тесноты связи вычисляют коэффициент корреляции и корреляционное отношение.

При высокой тесноте связи рассчитывают уравнение регрессии, по которому можно предсказать значение результивного признака (урожайности) в зависимости от факториальных признаков.

Пример установления прямолинейной зависимости между урожайностью яровой пшеницы (Y) и содержанием нитратного азота в почве перед посевом (X).

1. Составляют таблицу, в которую вносят средние значения урожайности (функция, Y) и средние значения содержания нитратного азота в почве (аргумент, X).

2. Суммируют значения Y и X , т.е. получают ΣY и ΣX .

3. Вычисляют средние значения \bar{y} и \bar{x} , разделив ΣY на l и ΣX на l . В нашем случае $\bar{y} = 104,8 : 5 = 20,96$, $\bar{x} = 16,44 : 5 = 3,29$.

4. Вычисляют отклонения урожайности и содержания азота от средних величин. Сумма положительных и отрицательных величин должна равняться нулю: $\Sigma(Y - \bar{y}) = 0$; $\Sigma(X - \bar{x}) = 0$.

5. Отклонения от средней возводят в квадрат, освобождаясь от знаков «+» и «-», получая $(Y - \bar{y})^2$ и $(X - \bar{x})^2$.

6. Суммируют квадраты отклонений, получая $\Sigma(Y - \bar{y})^2 = 212,8$ и $\Sigma(X - \bar{x})^2 = 12,37$.

7. Находят произведения средних отклонений и их сумму:

$$\Sigma(Y - \bar{y})(X - \bar{x}) = 48,92.$$

Коэффициент корреляции, обозначаемый индексом r , находят по формуле:

$$r = = = 0,95.$$

Коэффициент корреляции является безмерной величиной, изменяющейся в интервале $-1 < r < +1$. Считается, что при $r < 0,3$ корреляционная зависимость между признаками (функцией и аргументом) слабая, при $r = 0,3-0,7$ – средняя, а при $r > 0,7$ – сильная.

Таблица 5. Установление корреляционной зависимости между урожайностью яровой пшеницы и содержанием нитратного азота в почве

Вариант опыта	Урожайность, ц/га (Y)	Содержание NO_3 , мг/кг (X)	Отклонение от средней		Квадраты отклонений		Произведение $(Y - \bar{y})(X - \bar{x})$
			$Y - \bar{y}$	$X - \bar{x}$	$(Y - \bar{y})^2$	$(X - \bar{x})^2$	
1. Без удобрений	12,7	1,82	-8,26	-1,47	68,22	2,16	12,14
2. $\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ (фон)	15,2	1,87	-5,76	-1,42	33,17	2,01	8,17
3. Фон + N_{30}	20,4	2,65	-0,56	-0,64	0,31	0,40	0,35
4. Фон + N_{60}	26,8	4,15	5,84	0,86	34,10	0,73	5,02
5. Фон + N_{90}	29,7	5,95	8,74	2,66	76,38	7,07	23,24
Сумма	$(\Sigma y) = 104,8$	$(\Sigma x) = 16,44$	0	0	212,18	12,37	48,92
Среднее	$(\bar{y}) = 20,9$	$(\bar{x}) = 3,3$					

В нашем примере связь между урожайностью яровой пшеницы и содержанием нитратного азота сильная.

Для оценки надежности выборочного коэффициента корреляции вычисляют его ошибку и критерий существенности.

Стандартную ошибку коэффициента корреляции определяют по формуле

$$S_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 0,95^2}{3}} = 0,17,$$

где r – коэффициент корреляции;

n – число выборки, т.е. пар значений (5).

Критерий существенности коэффициента корреляции рассчитывают по формуле

$$t_r = \frac{r}{Sr} = \frac{0,95}{0,17} = 5,9.$$

Если $t_{r \text{ факт.}} \geq t_{r \text{ теор.}}$, то корреляционная связь существенна, и наоборот, $t_{r \text{ факт.}} < t_{r \text{ теор.}}$ - несущественна.

Теоретическое значение критерия t находят по таблице Стьюдента, принимая 5%-ный уровень значимости (приложение 3). Число степеней свободы принимают равным $n - 2 = 3$.

В нашем примере $t_{r \text{ теор.}} = 3,18$, т.е. меньше, чем $t_{r \text{ факт.}}$, следовательно, связь существенна.

Не менее важным показателем при корреляционном анализе является коэффициент детерминации (d_{yx}), который получают возведением в квадрат коэффициента корреляции (r^2). Он показывает долю в процентах тех изменений, которые зависят от изучаемого фактора. В нашем примере коэффициент детерминации $d_{yx} = 90\%$. Урожайность яровой пшеницы на 90% зависела от содержания азота в почве и на 10% - от других факторов.

Коэффициент корреляции указывает на тесноту связи между изучаемыми признаками, но не позволяет судить, как изменяется функция (Y) при изменении аргумента на единицу измерения. Это можно решить с помощью регрессионного анализа.

Уравнение линейной регрессии Y на X имеет вид $Y = \bar{y} - b_{yx}(X - \bar{X})$, где \bar{X} и \bar{y} - средние арифметические для ряда X и Y ; b_{yx} - коэффициент регрессии Y по X .

Коэффициенты регрессии вычисляют по формулам:

$$b_{yx} = \frac{r \cdot s_y}{s_x} = 3,95;$$

$$b_{xy} = \frac{r \cdot s_x}{s_y} = 0,23.$$

Произведение коэффициентов регрессии равняется квадрату коэффициента корреляции: $b_{yx}b_{xy} = r^2 = 3,95 \cdot 0,23 = 0,9$.

Подставив найденные значения в уравнение линейной регрессии, вычисляют уравнение прямой линии $Y = 20,9 + 3,95(X - 3,29) = 7,96 + 3,95X$.

По уравнению линейной регрессии корреляционная связь может быть изображена графически. Построив график уравнения простой линейной корреляции и имея цифровые показатели аргумента (X), можно рассчитать ожидаемую урожайность культуры.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие ошибки сопровождают полевой опыт и как они влияют на точность опыта и достоверность результатов?
2. Что позволяет определить дисперсионный анализ?
3. Какие основные статистические характеристики получают в дисперсионном анализе?
4. Напишите последовательность расчетов в дисперсионном анализе по Б.А. Доспехову.
5. Что такое корреляция и регрессия?
6. Какие вопросы решаются с их помощью?
7. Как определить простую прямолинейную корреляционную связь?
8. Что такое индекс детерминации и как он определяется?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. - М.: Высшая школа, 2003. - 523 с.
2. Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е.А. Дмитриев. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. - 328 с. ISBN 978-5-397-00039-0.

3. Кремер, Н.Ш. Теория вероятности и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. – М.: Юнити-Дана, 2002. – 343 с.
4. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.

Дополнительная

1. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М., 1983. – 427 с.

АГРОХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОЧВЫ

8.1. Методы определения макроэлементов в почвах

Повышение эффективности органических, минеральных удобрений и мелиорантов невозможно без детального изучения свойств почвы и проходящих в ней процессов.

По содержанию питательных элементов, тяжелых металлов, кислотности и щелочности почвы судят о естественном и искусственном плодородии, влияющем на урожай сельскохозяйственных культур и его качество.

Эффективность удобрений зависит не только от содержания подвижных элементов питания в почве, но и от физических и биологических свойств ее. Поэтому наряду с определением элементов питания, кислотности и щелочности необходимо учитывать влагоемкость, плотность, скважность, микробиологическую активность почвы и другие показатели.

Постановкой полевых, вегетационных, лизиметрических опытов и всесторонним анализом почвы удастся изучить фиксацию, миграцию, химическое поглощение, газообразные потери, вынос и коэффициенты использования элементов питания из почвы и вносимых удобрений. Большие и сложные анализы почв возможны только при хорошем, качественном оснащении агрохимических лабораторий современным оборудованием и приборами.

Методы определения подвижных и валовых форм питательных элементов разнообразны и зависят от типа почвы, поэтому их используют применительно к конкретным условиям региона.

8.1.1. Определение азота

Уровень плодородия почв в отношении азота и эффективность азотных удобрений зависят от содержания его валовых запасов и степени минерализации. Валовой азот почти на 98% представлен органическими соединениями и лишь около 2% приходится на минеральный. Поэтому даже на богатых гумусом почвах растения часто испытывают недостаток доступного азота.

Сколько в почве доступного азота и сколько необходимо довести с удобрениями для получения планируемой урожайности, сказать без лабораторных анализов нельзя.

Методов определения доступного азота почвы известно много. Их можно подразделить на 3 группы: определение легкогидролизуемого азота; минерального азота (нитраты, соли аммония) и методы, основанные на определении биологически активного азота, накопившегося в инкубационных условиях за определенный промежуток времени, т.е. определение по нитрификационной способности почвы.

Минеральный азот иногда называют подвижным. Формы его и способы их извлечения из почвы приведены в таблице 6.

Табл. 6. Формы подвижного азота и способы их извлечения

Форма определения азота	Вытяжка	Предполагаемый состав извлекаемых соединений азота
Нитратный	Водная	N-NO ₃
Обменно-поглощенный	Солевая	N-NH ₄
Минеральный	Солевая, водная	N-NO ₃ + N-NH ₄

Легкогидролизуемый	0,5н H ₂ SO ₄	N-NH ₄
Щелочно-гидролизуемый	1н NaOH	N-NH ₄
Окисляемый	30% NaOH	N-NO ₃ + N-NH ₄
Биологически активный (нитрификационная способность)	7 и 14-дневное компостирование при 28 ⁰ С	N-NO ₃

Прежде чем рекомендовать тот или иной метод, необходимо поставить большое количество полевых опытов с одновременным проведением анализов почвенных образцов, отобранных перед закладкой их и в период вегетации растений. Метод может быть рекомендован, когда между содержанием азота почвы и урожайностью устанавливается тесная корреляционная связь.

Из химических методов наиболее удобным, простым и часто используемым является метод определения нитратного или суммы нитратного и аммонийного азота в почвах перед посевом.

Метод определения нитрификационной способности почв применяют во всех почвенно-климатических зонах. Наиболее распространен метод С.П. Кравкова с 12-дневным компостированием при температуре 32⁰С, влажности 60%ПВ. Он признается многими учеными как наиболее точный и удобный при оценке плодородия почвы.

Таким образом, методы прогноза эффективности азотных удобрений условно можно подразделить на 4 основные группы.

К первой группе относят методы, основанные на определении доступного для растений азота путем химического анализа почвы. Сюда относятся методы определения нитратного и аммонийного азота перед посевом (посадкой) культур; определение легкогидролизуемого азота по И.В. Тюрину и М.М. Кононовой; по К.Б. Крисджи, Ф.Г. Меркли; по А.Н. Корнфилду; по Э.И. Шконде и И.Е. Королевой.

Ко второй группе относят методы, характеризующие биологический процесс минерализации почвенного азота. Они включают компостирование почвы в условиях, способствующих микробиологической деятельности, с последующим химическим определением накопленных в почве нитратов. Сюда следует отнести метод С.П. Кравкова и его модификации.

К третьей группе относят определение доступного растениям азота почвы по данным опытов с удобрениями, питательные вещества которых мечены стабильным изотопом ¹⁵N. Метод основан на том, что питательные меченые вещества, внесенные в почву с удобрениями, и такие же питательные вещества самой почвы поступают в растение пропорционально их содержанию в ней.

К четвертой группе относят методы, характеризующие потребность в азотном удобрении на основании химического анализа растений. При этом может быть использовано содержание азота как во всем растении, так и в определенных его органах, а также содержание азота в соке растений.

8.1.2. Определение фосфора

Валовой фосфор почвы состоит из органических и минеральных соединений. Почти все соединения почвенных фосфатов являются ортофосфатами, т.е. солями ортофосфорной кислоты. Благодаря высокой реакционной способности фосфор в свободном состоянии в природе не встречается. В почвах он содержится в форме ангидрида P₂O₅. Определение запаса валового фосфора, общего содержания органических, минеральных форм фосфатов и отдельных фракций фосфора имеет теоретическое и практическое значение для характеристики типов почв, обоснованной оценки агрохимических свойств почв, балансовых расчетов.

Перед определением фосфаты необходимо перевести в раствор. Фосфор в вытяжках определяют различными способами: весовым, объемным, фотометрическим и др.

Почти все методы определения в растворах фосфорной кислоты основаны на способности фосфора в кислой среде взаимодействовать с оксидами некоторых элементов с образованием гетерополикислот.

Для определения гетерополикислот применяют химические, физико-химические, физические способы анализа.

Из химических методов наиболее распространены весовой метод Лоренца и титриметрические (объемные) методы. Весовой метод применяют только при определении высокого содержания фосфора в растворе.

Сущность объемного метода заключается в том, что фосфор в кислой среде с молибдатом образует фосфорно-молибденовую кислоту.

К физико-химическим (инструментальным) методам относятся спектральный, активационный, атомно-абсорбционный, радиохимический, электрохимический, колориметрический и другие методы анализа.

Наиболее широкое применение получил колориметрический метод. При этом методе определения фосфора для получения окраски используют молибдат аммония. Эта соль в кислой среде с определенными восстановителями и фосфорной кислотой способна образовывать окрашенные в голубой цвет комплексные соединения. Интенсивность окраски зависит от количества фосфорной кислоты в растворе.

Методов определения подвижного фосфора предложено большое количество, однако ни один из них не считается универсальным, так как химические процессы, происходящие при анализе почвенных проб в лаборатории, не отражают биохимических процессов, происходящих в естественных условиях.

Для дерново-подзолистых и серых лесных почв с кислой реакцией среды предложен метод А.Т. Кирсанова. Он основан на извлечении подвижных фосфатов 0,2н раствором соляной кислоты.

Метод Ф.В. Чирикова был предложен для некарбонатных черноземов. В этом методе навеску почвы обрабатывают 0,5н раствором уксусной кислоты.

В некоторых районах Сибири определение подвижного фосфора проводят по методу Е. Труога. Метод основан на извлечении фосфора 0,002н раствором серной кислоты.

Для извлечения доступных фосфатов из карбонатных почв применяют метод Б.П. Мачигина, основанный на извлечении доступного фосфора из почвы 1%-ным раствором карбоната аммония. Метод принят стандартным для карбонатных черноземов, каштановых, бурых, коричневых почв и сероземов.

Другим признанным методом определения подвижного фосфора в карбонатных почвах является метод С.Р. Олсена. Он основан на извлечении фосфатов почвы 0,5н раствором бикарбоната натрия.

Кроме этих методов в агрохимических исследованиях используют еще около десяти других методов определения подвижных фосфатов почвы.

8.1.3. Определение обменного калия

Валовое содержание калия в почве в несколько раз превышает содержание азота и фосфора. В.В. Прокошев и И.П. Дерюгин считают, что для характеристики плодородия почвы следует выделять четыре фракции калия, которые в природной почве неразрывно связаны между собой и постоянно меняются для достижения равновесия.

1. *Калий минерального скелета* – основная часть калия почвы, обусловленная почвообразующими калийсодержащими первичными и вторичными минералами, в основном недоступная для растений.

2. *Калий необменный* – часть калия почвы, находящаяся в структуре слюдоподобных минералов и органоминеральных комплексов, участвующая в формировании равновесной системы, частично доступная для растений. К необменному относится также фиксированный калий. Он имеет как положительное, так и отрицательное значение в питании расте-

ний. Положительное заключается в том, что, находясь в фиксированном состоянии, он не подвержен вымыванию в подпахотные слои почвы, а при освобождении равномерно снабжает калием растения. Отрицательное заключается в том, что, проникая между слоями пакетов кристаллической решетки минералов, в засушливые периоды в условиях дефицита влаги он может «защемляться» и становиться недоступным растениям. Содержание фиксированного калия во многом зависит от гранулометрического состава, типа минералов, количества вносимых удобрений, погодных условий и др. факторов.

3. *Калий обменный* – часть калия почвы, расположенная на поверхности органоминеральных коллоидов и на специфических позициях вторичных минералов, в основном способствующая достижению динамического равновесия калия за счет процессов сорбции и десорбции его, взаимодействия с необменным калием. Эта фракция калия считается доступной для растений.

4. *Калий почвенного раствора* – находящийся в водорастворимой форме, является непосредственным источником питания для растений.

При определении калия в почве независимо от формы соединения и фракций его необходимо перевести в раствор. Переведенный в раствор калий определяют химическими или физическими методами. К физическому методу относят потенциометрический, пламенно-фотометрический и атомно-абсорбционный.

Из химических методов широко использовались кобальтнитритный, хлорплатинатный, тетрафенилборатный и др.

Кобальтнитритный метод основан на осаждении калия в растворе. Осажденный калий определяют весовым и объемным методами.

Все химические методы длительные, малопродуктивные, дорогие, поэтому в настоящее время используются крайне редко.

С 60-х годов XX в. для определения калия широко используют пламенные фотометры.

Определение калия проводится по методикам А.Т. Кирсанова (для дерново-подзолистых и серых лесных почв), Ф.В. Чирикова (для слабокислых черноземных почв), Б.П. Мачигина (для карбонатных почв) одновременно с извлечением подвижных форм фосфора, что обуславливает высокую производительность работы лабораторий.

Из-за снижения доз вносимых калийных удобрений отмечается отрицательный баланс калия в питании растений. Во многих регионах калий по дефициту выходит на первое место, опережая азот и фосфор. Очевидно, почва способна поддерживать постоянный уровень концентрации обменного калия не бесконечно и возможности пополнения его из трудногидролизующихся форм ограничены.

8.2. Методы определения микроэлементов в почве

Валовые запасы микроэлементов в почвах зависят от генезиса, минералогического состава и материнских подстилающих пород.

Для определения подвижных форм микроэлементов предложено много методик. Для извлечения используют воду, слабые растворы кислот, щелочей. В фильтраатах определение ведут атомно-абсорбционным или колориметрическим методом.

Образцы почв, отбираемые в поле, необходимо помещать в чистые полиэтиленовые мешочки. Высушивание и хранение почвенных образцов проводят в чистых, свободных от пыли помещениях. Образцы после измельчения в фарфоровых ступках помещают для хранения в пластмассовые коробочки или стеклянные банки.

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите о методиках определения общего и подвижного азота в почвах.
2. Расскажите о методиках определения общего и подвижного фосфора в почвах.
3. Расскажите о формах калия в почвах.
4. Какие методики используют при определении валового (общего) калия в почвах.

5. Какие методики применяют при определении обменно-поглощенного калия в почвах?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрочвоведение. Под ред. В.Д. Мухи – М.: КолосС, 2004. – 528 с. - ISBN5-9532-0047-1.
2. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
3. Минеев, В.Г. Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. :КолосС ; М. : МГУ, 2004. - 719 с. – ISBN 5-9532-0253-9. - ISBN 5-211-04795-8.
4. Новикова, Н. Е. Минеральное питание растений и применение удобрений / Н. Е. Новикова, Н. Е. Самсонова. - Орел :ОрелГАУ, 2008. - 199 с. ISBN978-5-93382-071-0.
5. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.

Дополнительная

1. Биоиндикация качества природной среды / Е.А. Нарушева, В.Б. Нарушев. – ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», Саратов, 2011. – 160 с.
2. Ганжара, Н.Ф. Практикум по почвоведению / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов, Р.Ф. Байбеков. – М.: Агроконсалт, 2002. – 280 с. ISBN 5-94325-023-9.
3. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / М.В. Новицкий, И.Н. Донских, Д.В. Чернов и др. – СПб.: Проспект Науки, 2009. – 320 с. ISBN 978-5-903090-31-0.
4. Мотузова, Г.В. Соединения микроэлементов в почвах / Г.В. Мотузова. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 168 с.
5. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. ISBN 978-5-9532-0718-8.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

9.1. Определение общих физических свойств почвы

Физические свойства почвы связаны с ее дисперсностью (раздробленностью на отдельные частицы) и пористостью (степенью примыкания частиц почвы друг к другу). Благодаря дисперсности и пористости в почвах можно выделить три фазы - твердую, жидкую, газообразную, находящиеся во взаимодействии друг с другом. Наименее подвижная часть - твердая фаза почвы и особенно минеральные частицы; более подвижные - органические вещества и еще более динамичные - жидкая и газообразная фазы. Поэтому физические свойства могут быть разделены на общие физические, физико-механические, водные, воздушные и тепловые.

К числу общих физических свойств почвы относят плотность, плотность твердой фазы почвы и пористость.

Плотность почвы - это отношение массы ее твердой фазы к массе воды в том же объеме при температуре +4° С. Величина относительной плотности почв зависит от плотности входящих в нее частиц минералов и их соотношения, а также от количества органического вещества. Обычно плотность минеральных горизонтов почв колеблется в пределах 2,4--2,8, а органогенных от 1,4 до 1,8 (торф). Плотность верхних гумусированных горизонтов почв в среднем равна 2,5-2,6, нижних - 2,6-2,7.

Плотность твердой фазы почвы - масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении, выраженная в г/см³. Это одно из важнейших свойств, определяющих способность почвы пропускать и удерживать влагу, воздух, сопротивляться орудиям обработки почвы и т. д. Зависит от типа растительности, механического и минералогического составов почвы (дисперсности), сложения, оструктуренности и степени обработки почв.

Наименьшая объемная плотность обычно наблюдается в верхних горизонтах почв, наибольшая - в иллювиальных и глеевых горизонтах. У хорошо оструктуренных, рыхлых дерново-подзолистых почв наименьшая объемная плотность наблюдается в лесных подстилках - 0,15-0,40 г/см³, в гумусовых горизонтах она повышается до 0,8-1,0, в подзолистых - до 1,4-1,45, иллювиальных - до 1,5-1,6 и в материнской породе - до 1,4-1,6 г/см³. Величина объемной плотности почв зависит от типа растительности. Так, в гумусовых горизонтах под сомкнутыми ельниками она равна 0,9-1,1, под березняками - 1,0-1,3, под злаками - 1,2-1,4 г/см³.

Каждый вид растений способен поддерживать объемную плотность почв на том или ином уровне, т. е. в определенном интервале величин. Наиболее благоприятная для растительности величина объемной плотности верхних горизонтов почв колеблется в пределах 0,95--1,15 г/см³. Предельной величиной характеризуются глеевые горизонты почв с максимальной объемной плотностью 2,0 г/см³. Если объемная плотность почв равна 1,6-1,7 г/см³, корни древесных пород практически в почву не проникают (при плотности почвы 2,66--2,70 г/см³), а сельскохозяйственные культуры снижают урожай в 3-4 раза.

Почву считают рыхлой, если объемная плотность гумусовых горизонтов равна 0,9-0,95, нормальной - 0,95-1,15, уплотненной - 1,15-1,25 и сильноуплотненной - более 1,25 г/см³.

Пористость (порозность или скважность) - суммарный объем всех пор и промежутков между частицами твердой фазы почвы. Ее вычисляют по плотности и объемной плотности почвы и выражают в % объема почвы по формуле. Различают несколько форм пористости, главнейшими из них являются капиллярная и некапиллярная. Капиллярная пористость обычно измеряется в лабораторных условиях и равна количеству воды, удерживаемому тонкими капиллярными промежутками между частицами твердой фазы почвы. Обычно

чем больше глинистых частиц, тем больше капиллярная пористость. В оструктуренных почвах вода между комочками вытекает из-за большого размера пор, а в самих комочках удерживается в капиллярах. Разница между общей и капиллярной пористостью составляет некапиллярную пористость.

Наибольшая пористость (80-90%) наблюдается в лесных подстилках, травяном войлоке, торфах, т. е. органогенных горизонтах. В минеральных гумусированных горизонтах она равна 55-65%, в верхних безгумусных 45-55%, в нижних горизонтах почвы может быть ниже 45%. Минимальная пористость наблюдается в глеевых горизонтах почв и равна около 30%.

Для развития корневых систем древесных пород наилучшие условия создаются при пористости почв, равной 55-65%; при пористости 35-40% корни проникают в почву с трудом, а при пористости глеевых горизонтов она практически становится корне непроницаемой. Большое значение имеет некапиллярная пористость. Для наиболее освоенных корнями горизонтов она, как правило, более 10%; при снижении ее до 3% нижние горизонты почв становятся малодоступными для корней. Некапиллярная пористость обеспечивает проникновение воздуха в почву - аэрацию. Для нормального развития растений важно, чтобы почвы имели высокую капиллярную пористость и пористость аэрации не менее 20% объема почвы.

9.2. Физико-механические свойства

Наиболее важными физико-механическими свойствами являются пластичность, липкость, набухание, усадка, связность, твердость, испелость. Большая часть этих свойств связана с количеством глинистых или илестых частиц и влажностью почвы.

Пластичность - способность влажной почвы необратимо менять форму без образования трещин после приложения определенной нагрузки. Пластичность характеризуется числом Аттеберга. Верхним пределом пластичности считают влажность, при которой почва начинает течь, а нижним - влажность, при которой почва перестает скатываться в шнур без трещин диаметром более 3 мм. Пески имеют число пластичности - 0, супеси - 0-7, суглинки - 7-17, глины - более 17. Пластичность почвы широко используется при определении механического состава почв, при скатывании шнуров и шаров, при расчетах тяговых усилий по обработке почв.

Липкость - свойство влажной почвы прилипать к другим телам, в том числе к поверхности сельскохозяйственных орудий; она измеряется нагрузкой в 9,8 Па, необходимой для отрыва металлической пластинки от влажной почвы. Липкость зависит от механического состава почв, оструктуренности, количества органического вещества, насыщенности почв различными катионами. Почвы супесчаные и песчаные, оструктуренные, богатые органикой имеют меньшую липкость. По липкости почвы делятся на предельно липкие (>147 Па), сильно вязкие (49,0-147 Па), средние (19,6-49,0 Па), слабо вязкие (19,6 Па).

Набухание - свойство почв и глин увеличивать свой объем при увлажнении. Оно зависит от величины илестой части почвы, ее минерального состава, состава обменных катионов. Больше набухают глины, особенно состоящие из монтмориллонита и насыщенные Na или Li. Набухание выражают в объемных % по отношению к исходному объему по формуле. Усадка - сокращение объема почвы при ее высыхании. Это явление обратное набуханию, зависящее от тех же условий, что и набухание. Измеряется в объемных % по отношению к исходному объему по формуле

При усадке почва может покрываться трещинами, возможны формирование структурных агрегатов, разрыв корней, усиление испарения. Усадка вызывает изменение процесса разложения органических веществ, увеличение аэриозиса почвы.

Связность - способность почв оказывать сопротивление разрывающему усилию. Она обусловлена силами сцепления между частицами и зависит от состава коллоидов и катионов. Наиболее связными являются глины, малооструктуренные почвы, насыщенные одно-

валентными катионами. Связность измеряется в Па при испытании образцов на сдвиг, разрыв, изгиб, раздавливание. В легких почвах органическое вещество и некоторая влажность увеличивают связность, в суглинистых, наоборот, уменьшают. Связность почвы влияет на качество обработки и сопротивление воздействию машин и орудий.

Твердость почвы- способность сопротивляться сжатию и расклиниванию. Измеряется с помощью твердомеров и выражается в Па. Твердость почвы зависит от механического состава, состава насыщающих почву катионов и влажности. По мере увлажнения почвы ее твердость уменьшается, при насыщении одновалентными металлами - увеличивается, малогумусовые почвы тверже гумусовых, оструктуренные почвы менее тверды, чем неструктуренные.

Спелость почвы- такое состояние, при котором она не прилипает, хорошо крошится, имеет наименьшее удельное сопротивление и не пылит. Различают физическую и биологическую спелости. Физическая спелость наблюдается при оптимальной влажности, которая колеблется в пределах 40-60% полной влагоемкости. Биологическая спелость, по Д.И. Менделееву, такое состояние почвы, при котором она «подходит, как тесто» от наличия в ней углекислого газа или максимальной биологической активности микроорганизмов (разложения и переработки органических веществ, освобождения элементов питания).

9.3. Водные свойства и водный режим почвы

Вода - важнейший фактор жизни на Земле. Она входит в состав всех живых организмов, участвуя практически во всех процессах, связанных с развитием растений. Вода играет огромную роль в формировании и развитии почвенного покрова.

Влагоемкость- количество воды, характеризующее водоудерживающую способность. Она выражается в процентах массы почвы, а при учете объемной плотности - в мм для определенного слоя почвы. Влагоемкость, как правило, увеличивается при увеличении количества глинистых частиц в почве. Наибольшей влагоемкостью обладают органогенные горизонты - лесные подстилки и торф, удерживающие влагу в 5-20 раз больше своей массы.

Различают максимальную молекулярную, наименьшую, капиллярную и полную влагоемкость почвы.

Продуктивная влага- количество воды, доступное для растений. Водоподемная способность - свойство почвы вызывать капиллярный подъем влаги от грунтовых вод, образуя капиллярную кайму. Если капиллярная кайма выходит на поверхность почв, то наблюдаются либо процессы заболачивания (на севере), либо засоления почв (на юге).

Водоподемная способность зависит от механического состава. В песках капиллярная кайма имеет высоту до 0,7-0,8 м, в супесях до 1,0-1,5 м, в средних и тяжелых суглинках до 3-5 м. Водоподемная способность для легких по механическому составу почв может быть вычислена по формуле. *Водопроницаемость*- способность почвы пропускать воду; измеряется количеством мм водного слоя в 1 мин (мм/мин). Зависит от механического состава, объемной плотности, водопрочности структуры и влажности и поэтому меняется во времени.

Различают две стадии процесса - впитывание и фильтрацию (просачивание). Впитывание происходит до тех пор, пока поры почвы не заполнятся водой, а фильтрация - после заполнения их и образования сплошного потока жидкости.

Водопроницаемость играет большую роль, как в жизни почв, так и в сохранении почвенного плодородия. Высокая водопроницаемость лесных подстилок обеспечивает впитывание влаги в почву после ливней, таяния снега. Наоборот, низкая фильтрация уплотненных горизонтов способствует образованию поверхностного стока воды, эрозионных процессов, формированию внутрипочвенной верховодки, заболачиванию и непродуктивному испарению влаги в атмосферу.

Испаряющая способность почвы зависит от ее механического состава, степени оструктуренности, покрытия поверхности почвы мертвым и живым покровом, а также от рельефа, климата и степени увлажнения участка.

Максимальное испарение наблюдается на оголенных бесструктурных, насыщенных до капиллярной влагоемкости участках почв, минимальное - с поверхности крупнозернистых песков и участков, покрытых лесной подстилкой или мульчей.

Водный баланс почвы - это совокупность всех видов поступления влаги в почву и ее расходование из определенного слоя за конкретный промежуток времени. Водный баланс почв рассчитывают по результатам измерения приходных и расходных статей, выраженных в мм водного слоя.

При самом простом расчете, особенно для длительных многолетних периодов в районах с установившимся климатом, предполагается, что приход воды в почву Y равен ее расходу из почвы P , ZB -- запас влаги. Однако в природе, особенно для кратковременных периодов, такое положение сохраняется редко, так как из года в год колеблется как количество влаги, поступающей в почву, так и ее расход. Например, в жаркое сухое лето количество влаги, поступающей в почву, уменьшается, а испарение с поверхности почвы, транспирация и десукция (отсасывание воды корнями из почвы) увеличиваются. Недостающая влага берется растениями из почвенных запасов.

И, наоборот, во влажные годы расход может быть меньше прихода, и тогда запасы влаги в почве пополняются. Этот же процесс повторяется и по временам года. Весной происходит накопление воды, которая постепенно расходуется в летний период.

Поэтому для расчета баланса может быть использована формула $\Pi = P \pm ZB$.

Наиболее крупными статьями прихода влаги на какой-либо участок можно считать атмосферные осадки, достигшие поверхности почвы, приток влаги из грунтовых вод, поступление воды с навешиваемым снегом, боковой приток воды по поверхности почвы, приток внутрипочвенной влаги (почвенной верховодки).

Наиболее крупными статьями расхода влаги являются: испарение влаги из почвы, испарение влаги осадков, задержанных кронами деревьев, испарение с травяного покрова, испарение с лесных подстилок, отсасывание воды корнями на транспирацию растений, сток поверхностный, сток внутрипочвенный, отток влаги в грунтовые воды. При наблюдениях учитывается запас влаги в начале наблюдений и запас влаги в почве в конце наблюдений.

Для плоских участков или средних частей ровных склонов с глубоким залеганием грунтовых вод приток и отток воды одинаков. Учитывая, что физическое испарение с поверхности растений, лесной подстилки и поверхности почвы равно суммарному испарению.

Формула водного баланса может меняться в зависимости от климатических условий, местоположения участка, типа растительности и других условий. Она используется для количественного выражения использования влаги под различными типами растительности, изучения их влияния на водный режим почв, выявления водорегулирующей роли тех или иных культур и насаждений, определения их потребности во влаге.

Сопоставляя данные прихода и расхода влаги, можно сделать вывод: если в почву поступает влаги больше, чем ее расходуется, значит, избыточная влага пополняет запасы грунтовой воды, и наоборот.

9.4. Воздушные свойства почвы

Благодаря пористости почва обладает воздухопроницаемостью. *Воздухопроницаемость* - свойство почвы пропускать воздух через поры, не занятые водой. Общий объем почвенных пор выше наименьшей влагоемкости (капиллярно-подвешенной влаги) называют воздухоемкостью, а общий объем пор, свободных от влаги, воздухоудержанием,

или порозностью аэрации. Воздухоёмкость и воздухосодержание выражаются в процентах объема почвы.

Воздушные свойства почвы зависят от влажности, объемной плотности, механического состава, структурности почвы. Благодаря воздухопроницаемости и порозности аэрации в почвах в том или ином количестве присутствует почвенный воздух. Почвенный воздух - газы, находящиеся в порах почвы, свободных от влаги; количество его выражается в процентах объема почвы, его содержание меняется в зависимости от динамики влажности почв в данной местности.

Почвенный воздух может находиться благодаря коллоидам в поглощенном состоянии, растворенным в почвенной влаге (вода может поглощать до 1--2%), в заземленном состоянии (когда воздух находится в порах, со всех сторон окруженных водной пленкой) и в свободном состоянии.

Почвенный воздух хорошо дренированных почв содержит (%): азота 78, кислорода 21, аргона 0,9, углекислого газа 0,03 и по составу мало отличается от атмосферного. В нем, однако, больше углекислоты и меньше кислорода.

В зависимости от пористости, влажности, состава растений, количества органических веществ, микроорганизмов, содержание O_2 и CO_2 в почвенном воздухе может меняться от 0 до 20%. Различия в концентрации O_2 и CO_2 определяются интенсивностью использования O_2 , выработкой CO_2 и быстротой обмена газового состава между атмосферным и почвенным воздухом - аэрацией.

Аэрация, или газообмен почвенного воздуха с атмосферным, осуществляется благодаря воздухопроницаемости почвы. Перемещение молекул происходит вследствие различия парциального давления газов (диффузии). Так как в почвенном воздухе больше углекислоты, чем в атмосферном, в первую очередь в почву поступает кислород, а выходит из нее углекислота. Процесс диффузии газов в самой почве происходит в 5-20 раз медленнее, чем в атмосфере. На аэрацию оказывает влияние поступление влаги в почву, которая вытесняет воздух в атмосферу.

Значительное влияние на газообмен оказывают верховодки и близлежащие (1,5-2,0 м) грунтовые воды с переменным уровнем. При подъеме уровня воды воздух, обогащенный углекислотой, выталкивается в атмосферу, а при опускании уровня воды происходит втягивание атмосферного воздуха, обогащенного кислородом. В этом положительная роль грунтовых вод. Аэрация усиливается благодаря изменению температуры и барометрического давления атмосферы. Нагревание почвы сопровождается расширением газов и их выходом в приземной слой воздуха; то же самое происходит при уменьшении атмосферного давления. И, наконец, газообмен почв усиливается при действии ветра в приземном слое, обычно занятом той или иной растительностью.

Значение почвенного воздуха и аэрации для почвенных процессов, жизни растений и микроорганизмов определяется составом почвенного воздуха и, в частности, соотношением кислорода и углекислоты.

Значительная часть почвообразовательных процессов, связанных с разложением органических веществ, сопровождается окислительными процессами, активной микробиологической деятельностью. Поэтому самые верхние органогенные горизонты поглощают значительное количество кислорода. Так, лесная подстилка способна поглотить до 400 мл/кг кислорода, гумусовые горизонты поглощают от 0,5 до 3 мл на 1 кг абсолютно сухого вещества, а нижние горизонты подзолистых почв - десятые и сотые доли миллилитра.

Поглощается кислород и растущими корнями растений, микроорганизмами. Причем во всех случаях в почвенный воздух выделяется углекислый газ, количество которого обеспечивает фотосинтез растений на 40-70%. При недостатке кислорода создаются анаэробные условия, замедляются процессы разложения органических веществ, сменяются группы микроорганизмов, изменяется валентность Fe и Mn, начинаются процессы оторфовывания, оглеения, разрушения почвенной структуры с образованием плотных горизонтов.

Анаэробные условия складываются в почвах при содержании кислорода 2,5-5% или, если его меньше $5,5 \text{ см}^3$ в 1 кг почвы. В результате недостатка кислорода в почве изменяются интенсивность и направление почвообразования, а почвенный воздух насыщается недоокисленными соединениями (метан, сероводород, ароматические вещества) и главным образом углекислотой, содержание которой может достигать 15-20% объема.

Находящийся в почвах углекислый газ способствует образованию (при реакции выше рН 5) бикарбонатов. При реакции среды ниже рН 5 углекислый газ способствует растворению карбонатов и, по-видимому, образуя угольную кислоту, может участвовать в процессах химического и биохимического выветривания, способствуя перемещению различных веществ по профилю почв. При недостатке кислорода прекращается рост корней, проростков, элементы питания становятся недоступными, а изменяющиеся физические условия в почве приводят к прекращению роста растений и потере почвенного плодородия. Для обеспечения наилучших условий газового состава почвенного воздуха, аэрации, роста растений и развития микроорганизмов необходимо, чтобы порозность аэрации верхних горизонтов почвы находилась в пределах 15-20% объема почвы.

Соотношение в почвах O_2 и CO_2 постоянно меняется в связи с сезонными и годовыми циклами развития растений и климатическими факторами.

Улучшение воздушного режима почвы прямо связано с обычными агротехническими приемами по регулированию физических свойств почв и водного режима. Повышение аэрации почв достигается уменьшением увлажнения верхних горизонтов. Однако для роста растений требуется оптимальное соотношение между почвенным воздухом и влагой, что достигается лишь в хорошо оструктуренных почвах добавлением органических удобрений при вспашке. Хороший эффект дает осушение болот, создание микро повышений, лесомелиоративных насаждений.

9.5. Тепловые свойства почвы

Источником тепла в почве является тепло энергии Солнца. Среднее количество тепла, поступающее на поверхность Земли, составляет $8,15 \text{ Дж/С}^\circ$ на 1 см^2 в минуту (солнечная постоянная). Часть этого тепла отражается от поверхности Земли, а часть рассеивается в атмосферу растительным покровом, поэтому к поверхности почвы приходит значительно меньшее количество энергии, которая поглощается и передается вглубь почвы благодаря ее тепловым свойствам.

Теплопоглощительная способность обеспечивает поглощение части лучистой энергии Солнца, которая затем превращается в тепловую, часть же лучистой энергии отражается от поверхности почвы. Отношение отраженной части энергии к полной выражается альбедо. Альбедо идеально отражающей поверхности равно 100, а абсолютно черного тела 0. Максимальное альбедо имеет снег - 88-91, минимальное - чернозем сухой - 14. У серозема сухого альбедо составляет 25-30, песок желтый или белый имеет альбедо 34-40. У влажных почв значительно меньшая отражательная способность (так, альбедо чернозема влажного равно 8, серозема 10-12).

Теплоемкость (массовая) - количество тепла, необходимое для нагревания 1 г сухой почвы на 1°C (Дж/С°), или 1 см^3 почвы на 1°C (Дж/С° на Г). Массовая теплоемкость абсолютно сухих минеральных почв колеблется в довольно узких пределах - от 0,15 до 0,20. Она очень сильно зависит от влажности почв. У влажных песчаных почв она возрастает до 0,7, у суглинков до 0,8, у торфов до 0,9. Поскольку песчаные почвы имеют меньше влаги и, следовательно, прогреваются и остывают быстрее, их называют «теплыми».

Теплоемкость почв зависит от тех их свойств, которые влияют на поглощение воды, а именно от гидрофильности коллоидов, содержания илистых частиц, наличия и характера органического вещества.

Теплопроводность - свойство почвы проводить тепло с той или иной скоростью. Она измеряется количеством тепла в джоулях (Дж), проходящим через 1-сантиметровый слой

сухой почвы площадью 1 см^2 . Тепло передается конвекционно через газ, жидкость или твердые частицы. Медленнее всего тепло проводит сухая структурная, богатая органикой почва. Наиболее быстро проводит тепло минеральная часть почвы; чем крупнее частички, тем больше теплопроводность: крупные песчаные частицы нагреваются в 2-2,5 раза быстрее, чем, например, пыль. Теплопроводность почв зависит от их плотности: при увеличении плотности с 1,1 до 1,6 теплопроводность возрастает в 2-2,5 раза. При увеличении же пористости от 30 и выше теплопроводность падает. Влажные почвы более теплопроводны, чем сухие.

Тепловой режим почвы определяется совокупностью явлений поглощения, передвижения и отдачи тепла. Тепловой режим почвы определяется распределением температур на разной глубине и в разные периоды.

В европейской части России минимальные температуры устанавливаются в почвах в январе или феврале, максимальные в июне и июле. Различают суточные и годовые колебания температур в почве. Наибольшее колебание их наблюдается в верхнем слое, а минимальные изменения на глубине 3--5 м. Каждому почвенному типу присущи свои пределы колебания температур на глубине 20 см. Поэтому основным показателем теплового режима является средняя температура на этой глубине за определенный период времени. Так, средняя температура за теплый период для подзолистых почв колеблется в пределах $6-10^\circ\text{C}$, черноземов $11-15^\circ\text{C}$, каштановых $14-16^\circ\text{C}$. Суточный ход температур имеет форму синусоиды с максимумом около 13 ч и минимумом 4--5 ч (перед восходом солнца), причем суточный перепад температур может достигать $25-30^\circ\text{C}$.

Роль теплового режима для растений и биологических процессов определяется количеством тепла, влаги и воздуха в почве. Наилучший рост корневых систем растений наблюдается в интервале $10-25^\circ\text{C}$. С увеличением количества тепла происходит размножение бактерий, повышается их биологическая активность, а, следовательно, переработка органического вещества, усиливается процесс газообмена и передвижения влаги в почве. При снижении температуры все процессы замедляются, а при падении температуры ниже 0°C начинается замерзание почвы. Следует отметить, что почвенная влага, как правило, при 0°C не замерзает. При температурах ниже -10°C замерзает почти вся влага, за исключением прочносвязанной. В это время происходит передвижение влаги к поверхности из нижних горизонтов. При промерзании почвы влажность верхних горизонтов может превышать полную влагоемкость из-за раздвигания почвенных частиц кристаллами образующегося льда. В отдельных горизонтах может накапливаться до 100 мм осадков.

Промерзание почвы имеет как положительное, так и отрицательное значение. Положительное значение промерзания выражается в образовании почвенной структуры, миграции почвенных животных в нижние слои, способствующей разрыхлению почвы и улучшению ее водопроницаемости, задержке начала вегетации для растений, боящихся заморозков. Отрицательное значение промерзания состоит в понижении водопроницаемости и, следовательно, усилении стока, задержке микробиологических и химических процессов, выживании растений и задержке их развития.

Промерзание почвы и его глубина зависят от толщины снежного покрова, лесной подстилки, густоты и мощности напочвенного покрова. В лесу почвы часто промерзают на значительно меньшую глубину, чем в поле.

Оттаивание почвы зависит от количества тепла в почве и в атмосфере, а также от толщины снежного покрова. Оттаивание может идти тремя путями: снизу за счет тепла почвы, снизу и сверху за счет быстрого схода снега и тепла почвы и только сверху, если почва промерзает до слоя вечной мерзлоты. После оттаивания почва оказывается более рыхлой и влажной, а если оттаивание произошло до активного снеготаяния, почва поглощает талую воду и насыщается ею до большой глубины. При дальнейшем прогревании создаются благоприятные условия для роста растений, развития микробиологических процессов - почва приходит в состояние спелости.

Тепловой режим почвы характеризуется радиационным, или тепловым, балансом по уравнению

$$R = LE + P + A,$$

где R -- радиационный баланс; P - турбулентная передача тепла из почвы в атмосферу; A - расход тепла на нагревание почвы; L - суточная теплота испарения и E- суммарное испарение за расчетный период времени. Все единицы выражаются в Дж/см²/ч или кДж/см²/мес.

Тепловой баланс для различных почвенно-климатических зон неодинаков. В зависимости от среднегодовой температуры и промерзания почвы В.Н. Димо выделяет четыре типа температурного режима почвы.

Мерзлотный, где среднегодовая температура почвенного профиля ниже нуля, длительно сезонно-промерзающий- почвы с глубиной промерзания не менее 1 м и длительностью промерзания более 5 мес., сезонно-промерзающий - среднегодовая температура почвенного профиля положительная, а длительность промерзания менее 5 мес. и непромерзающий тип - промерзания почв не наблюдается. Регулирование теплового режима обеспечивается различными агротехническими и лесокультурными мероприятиями. Такие приемы, как снегонакопление, прикатывание снега кольчатыми катками, посыпание его золой, оставление гребнистой пашни, мульчирование темными веществами, покрытие пленкой создание лесных полос способствуют прогреванию почвы. Наоборот, сгребание снега и лесных подстилок, выравнивание, прикатывание поверхности усиливают процессы охлаждения почвы.

Особенно благоприятное воздействие на температурный режим почвы оказывают создание лесных полос, глубокая вспашка, внесение органического вещества, рыхление, меры по снегонакоплению, т. е. общие агротехнические меры, направленные в целом на улучшение физических свойств.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими методами можно определить общие физические свойства почвы?
2. Как влияет рН почвенного раствора на плотность почвы?
3. Расскажите о видах пористости.
4. Что такое пористость почвы?
5. Что относится к физико-механическим свойствам почвы?
6. Расскажите о водных свойствах почвы.
7. Расскажите о воздушных свойствах почвы.
8. Какие агротехнические мероприятия благотворно влияют на физические свойства почвы?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрочвоведение. Под ред. В.Д. Мухи – М.: КолосС, 2004. – 528 с. - ISBN5-9532-0047-1.
2. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
3. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.
4. Шеин, Е.В. Курс физики почв / Е.В. Шеин. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 432 с. ISBN 5-211-05021-5.

Дополнительная

1. Королев, В.А. Методы исследования физических свойств почв / В.А. Королев. – Изд-во Воронежского ГУ, 2005. – 27 с.
2. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. ISBN 978-5-9532-0718-8.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ И РАСТЕНИЙ

Потенциометрические методы анализа широко применяются для исследования почв; по распространенности в научно-исследовательских и производственных почвенных и агрохимических лабораториях они занимают одно из первых мест среди физико-химических методов анализа. Всеобщее признание получили потенциометрические методы определения рН, окислительно-восстановительных потенциалов. В последние годы разработаны новые типы электродов, пригодных для определения в почвах активности ионов натрия и калия, совершенствуются электроды для определения ионов кальция.

Потенциометрические методы определения активности ионов позволяют определять в почвах содержание водорастворимых солей, поглощенных оснований, буферность почв и нуждаемость кислых почв в известковании, изучать свойства и поведение органических и минеральных веществ почв.

Бесспорными преимуществами этих методов являются простота техники измерения и аппаратуры, доступной любой почвенно-химической лаборатории, и малое время, затрачиваемое на одно определение. В большинстве случаев оказывается возможным изучать свойства почвы и почвенных растворов, не изменяя их состава и концентрации, и получать тем самым характеристики почв в естественном, природном состоянии. Это позволяет применять электроды в вегетационных опытах, непрерывно следить за состоянием почвы по фазам развития растений.

10.1. Потенциометрическое определение рН почвы.

Ни одно почвенное исследование не обходится без определения рН. Реакция почвенной среды является важнейшим генетическим показателем, она используется в качестве одного из классификационных признаков и характеризует пригодность почв для возделывания различных сельскохозяйственных культур.

Чувствительность растений к величине рН неодинакова и зависит не только от вида растений, но и от состава почвы. Вредное влияние повышенной кислотности или щелочности обусловлено как прямыми, так и косвенными причинами; при повышении кислотности изменяется химический состав почвенного раствора, увеличивается содержание подвижного алюминия, марганца, препятствующих нормальному ходу обмена веществ.

Необходимость регулирования рН при окультуривании почв послужила одной из причин, благодаря которым определение рН – один из наиболее распространенных видов почвенного анализа.

На территории России преобладают почвы таежной зоны, отличающиеся в своем большинстве повышенной кислотностью. Поэтому изучение природы почвенной кислотности и разработка мер по борьбе с ней – одна из важнейших задач химии почв.

Различают несколько видов *почвенной кислотности*, которые количественно характеризуют или путем определения общего количества свободных кислот, титруемых щелочью, или путем определения реакции среды, выражаемой в единицах рН.

Принято характеризовать: 1. реакцию почвенной среды по величине рН водной вытяжки; 2. реакцию солевой вытяжки из почв по величине рН вытяжки 1н раствором KCl; 3. обменную кислотность по количеству щелочи, затрачиваемой на титрование солевой вытяжки; 4. гидролитическую кислотность по количеству щелочи, затраченной на титрование вытяжки, приготовленной на нейтральном растворе гидролитически щелочной соли.

Активная реакция водной вытяжки зависит от присутствия в почве легко растворимых кислот, солей и от содержания углекислого газа. Активную реакцию определяют для всех типов почв, причем на величину рН в солончаках влияют преимущественно легко растворимые соли, а в солонцах – поглощенный натрий или карбонаты и бикарбонаты натрия; в

карбонатных почвах и там, где ППК насыщен кальцием, реакция почвы определяется буферной системой $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

В водные вытяжки могут переходить такие простейшие кислоты, как муравьиная, уксусная, щавелевая, молочная, яблочная, винная и др. вместе с тем растворяются и некоторые специфические органические вещества почвы – фульвокислоты. В почвах, не насыщенных основаниями, эти кислоты и уголекислота преимущественно определяют величину рН водной вытяжки.

Реакция почв, содержащих карбонаты, в значительной мере снижается в присутствии CO_2 ; под влиянием уголекислого газа карбонаты переходят в бикарбонаты, растворимость которых выше, и рН снижается.

Легкорастворимые соли солончаков и засоленных почв значительно меняют активную реакцию почвенного раствора. Соли сильных оснований и слабых кислот обуславливают щелочную реакцию, что имеет место в содовых солончаках. Хлоридные солончаки, особенно с высоким содержанием кальциевых и магниевых солей, имеют кислую реакцию.

Щелочная реакция свойственна водным вытяжкам из некоторых горизонтов солонцов, что может быть объяснено гидролитическим отщеплением поглощенного натрия. Так, если в почве присутствуют гуматы натрия, то при взаимодействии почвы с водой образуется гуминовая кислота; щелочной раствор быстро поглощает уголекислоту. В результате величина рН зависит как от константы гидролиза гумата натрия, так и от равновесия в системе гидроокись – карбонат натрия. Аналогично гидролизуется минеральный ППК, насыщенный ионами натрия.

Активную реакцию солевой вытяжки, обменную кислотность и гидролитическую кислотность определяют только для почв, ненасыщенных основаниями.

Наглядная классификация видов почвенной кислотности дана Н.П. Карпинским, который вводит понятия *количества кислотности* (фактор емкости) и *интенсивности кислотности* (фактор интенсивности). Количество кислотности охватывает общее содержание компонентов, способных реагировать по кислотному типу. Фактор интенсивности указывает, в какой мере эти компоненты проявляют себя в действии в конкретных условиях среды или эксперимента.

Диапазон величин рН, наблюдаемый для почв, весьма широк; большинство почв, важнейших в сельскохозяйственном отношении, характеризуется умеренно кислой, нейтральной или слабощелочной реакцией (рН от 4,5-5,0 до 7,5); однако приходится встречаться как со значительно более кислыми (рН=3,0-3,2), так и с сильнощелочными почвами (рН=9,3-9,8).

10.2. Поляриметрические методы определения сахарозы.

Возникновение и развитие поляриметрического метода анализа связано с именем чешского профессора Я. Гейровского, который впервые установил связь между силой тока и концентрацией вещества, восстанавливающегося на ртутном капельном электроде.

Быстрое развитие метода и широкие возможности его использования в почвенных исследованиях определяются в основном двумя факторами: универсальностью метода и высокой чувствительностью и точностью.

Универсальность метода основывается на следующих особенностях.

1. Поляриметрический метод применим как для целей количественного анализа, так и для изучения структуры и строения различных соединений.

2. Применение этого метода позволяет определить очень большое число веществ как в ионной, так и в молекулярной форме.

3. Одновременно по одной полярограмме возможно количественное определение сразу нескольких компонентов, присутствующих в растворе, причем можно осуществлять непрерывный контроль за содержанием отдельных компонентов раствора.

Значительным преимуществом поляриметрического метода является высокая чувстви-

тельность его и большая точность определения очень малых количеств веществ, что позволяет определять содержание микроэлементов в почвах.

Поляриметрический метод в почвоведении наиболее часто используется для определения содержания ряда микроэлементов и некоторых почвенных характеристик.

Поляриметрический метод физико-химического анализа основан на измерении вращения плоскости поляризации света оптически активными веществами.

Этим методом в производстве определяют содержание сахарозы, общего сахара и др.

Некоторые органические вещества, в том числе и углеводы, обладают способностью поворачивать плоскость поляризации проходящего через них поляризованного луча. Такие вещества называются *оптически активными веществами*. Оптической активностью обладают только те органические соединения, в молекулах которых присутствуют асимметрические атомы углерода, связанные с четырьмя различными атомами.

Поляриметрический метод применяют обычно для объектов, в которых практически содержится только одно оптически активное вещество, чаще всего сахароза. Однако исследуемый объект может содержать 2 или более оптически активных вещества. Тогда необходимо повторить анализ, чаще всего его проводят до и после инверсии сахарозы (определение сахарозы в присутствии лактозы или других сахаров). Иногда результат анализа вычисляют по предварительно составленным экспериментальным таблицам (определение содержания редуцирующих веществ в патоке). Если исследуемый объект содержит одно оптически активное вещество или легко можно удалить другие оптически активные вещества, мешающие определению, то поляриметрические определения просты и занимают мало времени.

Недостатком поляриметрического метода является необходимость использования сравнительно больших навесок исследуемого объекта, а также осветления растворов, что осуществляется обычным способом, путем введения небольших ($10\text{—}20\text{ см}^3$) количеств 1н растворов ($1/2\text{ ZnSO}_4$ и NaOH или KOH с последующей фильтрацией).

Вопросы для самоконтроля

1. Что можно определить потенциометрическими методами анализа?
2. Как влияет pH почвенного раствора на растения?
3. Расскажите о видах почвенной кислотности.
4. Что такое активная реакция водной вытяжки?
5. Что такое активная реакция солевой вытяжки?
6. В чем заключается универсальность поляриметрического метода?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрочвоведение. Под ред. В.Д. Мухи – М.: КолосС, 2004. – 528 с. - ISBN5-9532-0047-1.
2. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
3. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.

Дополнительная

1. Зырин, Н.Г. Физико-химические методы исследования почв / Н.Г. Зырин, Д.С. Орлов. – Изд-во Моск. ун-та, Москва, 1964. – 342 с.
2. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В. Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. ISBN 978-5-9532-0718-8.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИЗОТОПНЫХ ИНДИКАТОРОВ В АГРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

11.1. Основные свойства изотопов

Стабильные и радиоактивные изотопы, меченные ими химические соединения широко используют в биологии, медицине и сельском хозяйстве.

За последние 40-50 лет благодаря использованию изотопов в агрохимической науке сделан ряд важных открытий, позволивших по-новому рассматривать физико-химические процессы, протекающие в почве и растениях во время питания сельскохозяйственных культур, более точно определить трансформацию таких важных элементов, как азот, фосфор, калий, установить коэффициенты использования растениями некоторых элементов почвы и вносимых удобрений.

Изотопы в агрохимической науке страны впервые использовали В.М. Клечковский, А.В. Соколов, Ф.В. Турчин, П.М. Смирнов, Д.Н. Кореньков. Благодаря этим ученым в нашей стране появились методики постановки опытов с радиоактивными и стабильными изотопами, позволяющие работать в безопасных для человека условиях, с минимальными дозами радиоактивных элементов, в то же время обеспечивать высокие точность и достоверность исследований.

Изотопами называют разновидности одного и того же химического элемента, отличающиеся массой атомов. Ядра атомов изотопов содержат одинаковое число протонов и разное число нейтронов. Такие атомы обладают одинаковыми химическими свойствами, их ядра имеют одинаковый заряд. В периодической системе элементов Менделеева изотопы одного элемента расположены в одной и той же клетке.

Большинство химических элементов в природе представлено смесью от двух до десяти изотопов, однако во всех элементах преобладает только один изотоп.

Различают *стабильные (устойчивые)* изотопы, ядра которых в обычных условиях неизменяемы и устойчивы, и *радиоактивные (неустойчивые)* изотопы, ядра которых распадаются, образуя при этом ядра атомов других элементов. Радиоактивные изотопы отличаются по типу радиоактивности, скорости радиоактивного распада, энергии излучения, испускаемого при ядерных превращениях.

Каждый элемент может иметь стабильные и радиоактивные изотопы.

Радиоизотопы, применяемые в агрохимических исследованиях, могут образовывать три вида излучений, однако наибольшее применение имеют те, которые испускают β -излучение.

О скорости распада радиоактивного изотопа судят по тому, какая доля имеющихся в наличии атомов радиоактивного изотопа распадается за единицу времени. Эта доля везде и всегда остается постоянной, и ее называют *«постоянной распада»*. На величину постоянной распада не влияют температура, давление, влажность и другие факторы.

Несмотря на то, что доля распадающихся атомов в единицу времени постоянна, число распадов непрерывно уменьшается со временем.

Теоретически полный распад, т.е. распад всех ядер изотопа, заканчивается через большой промежуток времени. Поэтому в расчетах радиоактивности для каждого элемента приводят *«период полураспада»*, т.е. время, за которое число распадающихся в единицу времени радиоактивных атомов уменьшается наполовину.

Благодаря явлению самораспада интенсивность β -излучения в начале опыта (посев культуры) и в конце его (созревание) резко уменьшается, особенно у изотопов с коротким периодом полураспада. Поэтому результаты измерений радиоактивности, получаемые в разные сроки, фазы развития растений, пересчитывают на один срок, чаще всего на день закладки опыта.

Активность радиоактивных изотопов выражают в кюри (Ки). 1Ки означает $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов атомов радиоактивных изотопов в 1 секунду.

Биологическое действие ионизирующих излучений, степень их влияния на жизнедеятельность человека и растений связывают с дозой поглощенного излучения; измеряют в радах.

Рад – мера поглощенной дозы ионизирующих излучений. Доза в 1 рад соответствует энергии излучения 100 эрг, поглощенной веществом массой 1 г. Если известны концентрация изотопа в ткани в кюри, период полураспада и схема его распада, то не трудно подсчитать дозу в радах за определенный период времени.

Для количественного определения интенсивности радиоактивного излучения используют отечественные радиометрические установки; счетчиками в них являются разного типа детекторы: пластинки с фотоэмульсией, изменяющиеся под воздействием излучения; колориметрические установки, действие которых основано на измерении тепла, выделяемого веществом при поглощении энергии излучения. В агрохимических исследованиях чаще используют электрические счетчики Гейгера-Мюллера.

11.2. Применение изотопа ^{32}P

Удобрения, в которых элемент заменен на радиоактивный изотоп, очень дорогие, к тому же опасны в работе. При закладке вегетационных и микрополевых опытов необходимо соблюдать строгие меры предосторожности, использовать респираторы, спецодежду и др. установлено, что нет необходимости ставить опыты с удобрениями, в которых питательный элемент полностью заменен на радиоактивный. Для краткосрочных вегетационных опытов достаточно внести 5-10 мКи ^{32}P на сосуд, в обычных вегетационных опытах с почвенной культурой дозы составляют 100-200 мКи.

Чтобы удешевить исследования и в какой-то степени обезопасить экспериментатора и растение от высоких доз облучения, прибегают к «мечению» элемента, т.е. добавлению в небольших количествах к обычному удобрению солей с радиоактивным элементом.

Вещество с искусственно измененным изотопным составом получило название меченого. На использовании изотопной метки основан метод изотопных индикаторов, или меченых атомов. Изотопной меткой могут служить как стабильные, так и радиоактивные изотопы. Так как химические свойства изотопов одного и того же элемента одинаковы, то по поведению меченого соединения в почве, растении, других средах можно судить о поведении в этих же условиях «немеченого» элемента.

При изучении влияния фосфора удобрений и почвы на рост и развитие сельскохозяйственных растений, плодородие почв, трансформацию элемента в системе почва - удобрение – растение в качестве индикаторной метки используют радиоактивный изотоп фосфора (^{32}P), получаемый искусственным путем. Он обладает небольшим периодом полураспада, который равен 14,3 дня, и значительной энергией β -излучения.

С применением радиоактивного фосфора агрохимикам удалось решить ряд важных вопросов в фосфатном питании и использовании различных по растворимости фосфорных удобрений, более точно установить коэффициенты использования фосфора из различных типов почв и фосфорсодержащих удобрений, определить запасы в почвах растворимых фосфатов и др.

На первом этапе исследований большое внимание уделяют изучению отзывчивости растений на процесс самого излучения радиоактивного фосфора. По выносливости к высоким дозам ^{32}P растения располагаются в следующий ряд, начиная с менее выносливых: гречиха, зерновые злаки, горох, лен, горчица. Токсичность ^{32}P в опытах с зерновыми злаками замечена при дозе в 500 мКи/кг почвы, а в опыте с гречихой – 360 мКи, с горохом – 1000 мКи.

При изучении запаса усвояемых фосфатов почвы вносят невысокие дозы раствора меченого фосфора с большой радиоактивностью, при этом подвижные фосфаты почвы стано-

вятся «мечеными». После установления в почве постоянного соотношения между радиоактивным и нерадиоактивным фосфатом поступление этих изотопов в растения будет пропорционально их содержанию в почве.

Количество усвояемых фосфатов в почве ($P_{\text{запас}}$) рассчитывают по формуле:

$$P_{\text{запас}} = \frac{P_{\text{растения}} \cdot 100}{K}$$

где $P_{\text{растения}}$ – общее количество фосфора, усвоенное растениями из почвы;

K – коэффициент использования растениями внесенного в почву радиоактивного фосфора.

С помощью радиоактивного изотопа ^{32}P можно более точно установить запас подвижных фосфатов почвы. При выделении из почвы подвижных фосфатов при помощи различных растворителей (водных, кислотных, солевых и др.) во время приготовления вытяжки происходят не только растворение почвенных фосфатов, но и их вторичные осаждения, т.е. одновременно два процесса – растворение и осаждение фосфатов.

Использование изотопа ^{32}P в агрохимических исследованиях позволило более глубоко изучить ряд важных вопросов, в частности влияние гранулированных фосфорных удобрений на рост и развитие растений, значение тонины помола фосфоритной муки в питании растений, влияние некорневых подкормок фосфором и глубины внесения фосфорных удобрений в почву на урожайность и качество сельскохозяйственных культур.

11.3. Применение стабильного изотопа ^{15}N

Из известных изотопов азота два с массой 14 и 15 являются стабильными, в природе на долю ^{14}N приходится 99,63 ат. %, а на ^{15}N – 0,365 ат. %. Остальные четыре изотопа, полученные искусственно, обладают радиоактивностью с очень коротким периодом полураспада. Используя в качестве метки ^{15}N , Ф.В. Турчин, П.М. Смирнов и другие исследователи установили вынос и коэффициенты использования азота растениями из удобрений и почвы, параметры потерь азота в газообразной форме в результате денитрификации, потери азота в результате вымывания в подпахотные слои почвы, определили скорость поступления нитратного и аммонийного азота в растение и скорость образования белковых веществ в нем, фиксацию азота микроорганизмами и кристаллической решеткой минералов, значение «экстра» азота в питании растений и др.

Потери азота из удобрений в газообразной форме зависят от применяемых форм азотных удобрений, влажности почв, условий аэрации, длительности взаимодействия с почвой и других факторов.

Методы определения концентрации ^{15}N основаны на измерении изотопного состава азота исследуемого образца. Они совершенно отличаются от тех методов, которые используют при применении радиоактивных изотопов, и основаны на определении интенсивности излучения.

Использование стабильных изотопов в качестве индикаторов не позволяет применять больших разбавлений, как при работе с радиоактивными изотопами. Это является недостатком метода. Однако при работе со стабильными изотопами не возникает опасности в отношении влияния радиации на биологические процессы и не требуется соблюдения специальных мер предосторожности, которые необходимы с радиоактивными изотопами.

Для анализа изотопного состава азота используют масс- или эмиссионные спектрометры. Чтобы получить хорошо воспроизводимые результаты с помощью масс-спектрометра, требуется 1-3 мг азота. Эмиссионный же спектрометр позволяет измерить изотопный состав при наличии около 0,01 мг ^{15}N .

Измерение изотопного состава азота позволяет установить лишь концентрацию ^{15}N в анализируемом образце. Чтобы определить содержание ^{15}N , присутствующего в почве в виде какого-либо соединения, помимо изотопного состава определяют величины азота химическим методом одновременно с подготовкой образцов газообразного азота для изо-

топного анализа.

При анализе почвенных образцов, обогащенных ^{15}N , газообразный азот можно получить в 2 этапа: 1) перевод анализируемых соединений азота в аммонийную форму и отгон NH_3 ; 2) окисление аммиака до элементарного азота гипобромитом натрия.

При определении общего азота в почве для окисления органического вещества следует применять метод Кьельдаля; если есть нитраты, то озоление ведут дисульфифеноловой кислотой.

Когда необходимо измерить изотопный состав отдельных соединений азота, напр., обменного аммония или нитратов, их извлекают из почвы, применяя солевые вытяжки, и отгоняют NH_3 в присутствии MgO . При определении нитратов их предварительно восстанавливают до аммиака. После отгонки NH_3 в дистилляте определяют содержание аммонийного азота титрованием. Затем раствор доводят до слабокислой реакции, прибавляя несколько капель 0,02н H_2SO_4 , и выпаривают в фарфоровых чашках на водяной бане до 2-5 мл. На втором этапе проводят окисление аммиака до элементарного азота гипобромитом натрия.

Азотные удобрения, меченные ^{15}N , можно использовать для решения многих задач, в том числе и для определения запаса усвояемого азота почвы. При внесении в почву меченого азота он разбавляется содержащимся в самой почве усвояемым азотом неорганических соединений, образовавшимся в результате минерализации почвенного гумуса, и поступает в растение на равных с ним основаниях. Удельное обогащение урожая изотопом азота ^{15}N , взятым для опыта, может служить для определения количества содержащегося в почве усвояемого азота.

Стабильный изотоп ^{15}N можно использовать для изучения процессов разложения органического вещества в почве. Меченная по азоту растительная масса получается при выращивании растений на азотных удобрениях, обогащенная тяжелым изотопом азота.

Кроме тяжелого изотопа для изучения процессов разложения органического вещества в почве широко используют изотоп углерода ^{13}C . Применение стабильного углерода позволяет проследить за разложением не только растительного материала, но и одновременно органического вещества почвы.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое «радиоактивные» и «стабильные» изотопы?
2. Какие вопросы в агрохимии решают с помощью изотопа ^{32}P ?
3. Расскажите об основных свойствах радиоизотопов.
4. Какие вопросы в агрохимии решают с помощью изотопа ^{15}N ?
5. Расскажите об основных требованиях, предъявляемых к отбору почвенных и растительных проб на содержание в них изотопов.
6. Расскажите об измерении концентрации ^{32}P и ^{15}N в почвенных и растительных образцах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин, И.П. Дерюгин, В.И. Кобзаренко. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Кидин, В.В. Система удобрения / В.В. Кидин. - М.: Изд-во РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. - 534 с. - ISBN 978-5-9675-0615-4.
3. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.

Дополнительная

1. Галимов, Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода / Э.М. Галимов. - М.: Недра, 1968. - 226с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМ УДОБРЕНИЙ МЕТОДОМ ПОЛЕВОГО ОПЫТА

12.1. Стационарные и производственные полевые опыты.

Полевой метод заключается в закладке полевого опыта на специальном участке по методикам, предусматривающим соблюдение основных правил его проведения. Это главный метод агрономических и агрохимических исследований, связанных с удобрениями. Изучая в полевых опытах влияние удобрений на растения, используют как почвенную, так и растительную диагностику. Для определения доз удобрений пользуются данными полевых опытов и агрохимических анализов почв и растений. В лесном хозяйстве в настоящее время наиболее полно изучена эффективность удобрений в лесных питомниках европейской части России, разработана система их применения при выращивании посадочного материала хвойных пород. Дозы удобрений в лесных питомниках рассчитывают на основе шкал группировки плодородия почвы и картограмм обеспеченности ее основными элементами питания (содержание гумуса, P_2O_5 , K_2O), а также степени кислотности или щелочности почвенного раствора. Картограммы составляются по результатам агрохимического анализа почв для каждого конкретного поля севооборота. В средневозрастных и приспевающих насаждениях для этого руководствуются данными о содержании элементов питания в хвое и листьях, а также в почве.

В сельском хозяйстве наиболее широко распространены *три способа расчета доз удобрений*. По первому способу в зависимости от степени обеспеченности почв основными элементами питания, которая определяется на основе агрохимических картограмм, выбирается так называемая средняя обеспеченность и для нее устанавливаются дозы удобрений. Эти дозы увеличиваются, если почва бедная, и уменьшаются, если почвенное плодородие выше среднего. Остальные два способа расчета доз удобрений основаны на учете выноса питательных веществ с урожаем. При этом учитывается также эффективность использования удобрений растениями и мобилизуемые из почвы элементы питания. Эти способы могут быть использованы и в лесных питомниках. Для расчета дозы удобрений необходимы экспериментальные данные по выносу питательных веществ при выкопке посадочного материала древесных пород с учетом физико-химических свойств почвы. Дозы удобрений в технической литературе указаны, как правило, по действующему веществу, то есть с учетом содержания основного элемента питания (одного или нескольких) без примесей. Поэтому в производственных условиях дозы удобрений пересчитывают на физическую массу с учетом действующего вещества (%) в конкретном удобрении по формуле: $D_t = 100 * D/P$,

где D_t — доза удобрений по техническому препарату (в туках), кг/га D — рекомендуемая доза удобрений по действующему веществу (д.в.) кг/га; P — содержание действующего вещества в техническом препарате, %.

12.2. Определение норм удобрений на основе использования результатов полевых опытов

Зональные рекомендации по применению удобрений под сельскохозяйственные культуры разрабатывают на основании обобщения данных полевых опытов об эффективности видов, форм, норм и способов внесения удобрений в типичных для зоны почвенно-климатических условиях и севооборотах. Рекомендуемые средние нормы удобрений устанавливают в этом случае на основе агроэкономической оценки результатов полевых опытов. Средние рекомендуемые зональные нормы удобрений должны корректироваться применительно к конкретным условиям хозяйства в зависимости от агрохимических свойств почв.

Согласно действующей в настоящее время классификации почв по агрохимическим показателям, все почвы в зависимости от кислотности и содержания подвижных форм питательных веществ подразделяются на шесть классов. Показатели третьего класса характеризуют среднюю обеспеченность почвы элементами питания для зерновых культур, а четвертого и пятого — соответственно для более требовательных к уровню питания пропашных и овощных культур. При большем, чем среднее, содержании питательных веществ в почве рекомендуемая норма удобрений под сельскохозяйственные культуры уменьшается, при меньшем — повышается. Обычно при обеспеченности почвы подвижными формами элементов питания на один класс ниже либо выше, чем средняя, норма изменяется на 25—30%, а на два класса — в 1,5 раза.

Поправочные коэффициенты к средним рекомендуемым нормам удобрений в зависимости от обеспеченности почвы элементами питания уточняются зональными научными агрохимическими учреждениями для различных сельскохозяйственных культур применительно к условиям их возделывания. Такие поправочные коэффициенты к средним нормам. Таблица 1 - Примерные поправочные коэффициенты к средним нормам удобрений под различные культуры в зависимости от содержания подвижного фосфора и калия на дерново-подзолистых и серых лесных почвах (данные ЦИНАО)

Содержание в почве	Зерновые	Зернобобовые и травы	Лен	Пропашные	Овощные
Фосфорные удобрения					
Очень низкое	1,3—1,5	1,5-2,0	1,8—1,5	-	-
Низкое	1,0	1,0	1,0	1,3—1,5	-
Среднее	0,6—0,7	0,7—0,9	0,6—0,7	1,0	1,2—1,5
Повышенное	Рядковое	0,6—0,5	0,5	0,5—0,7	1,0
Высокое	Не вносят	Не вносят	0,2—0,8	Рядковое	0,6—0,8
Очень высокое	Не вносят	Не вносят	Рядковое	Не вносят	Рядковое
Калийные удобрения					
Низкое	1,0	1,5	1,5—2,0	1,3-1,5	1,5—2,0
Среднее	0,6—0,7	1,0	1,0—1,5	1,0	1,3—1,5
Повышенное	Не вносят	0,7—0,8	0,8—1,0	0,6-0,8	1,0
Высокое	Не вносят	0,5—0,6	0,7—0,8	0,5	0,6—0,8

В таблице 1 в качестве примера даны поправочные коэффициенты к средним нормам удобрений для отдельных культур на дерново-подзолистых и серых лесных почвах.

Зональными агрохимическими лабораториями и научными учреждениями страны постоянно проводятся широкие экспериментальные исследования по выяснению взаимосвязи между агрохимическими показателями почвы и эффективностью удобрений. В полевых опытах изучается взаимосвязь между нормой основных элементов питания и уровнем урожайности важнейших сельскохозяйственных культур, возделываемых в конкретных почвенно-климатических условиях при различной обеспеченности почвы подвижными формами питательных веществ. На основании выявленной в таких опытах коррелятивной зависимости разрабатывают рекомендации по применению удобрений на планируемый урожай с учетом агрохимических показателей почвы (примером таких рекомендаций могут служить данные таблиц 2 и др.).

Таблица 2 - Оптимальные соотношения элементов питания и нормы удобрений, рекомендуемые агрохимической службой по основным зонам для заданных урожаев (данные ЦИНАО)

Район возделывания	Число обобщенных опытов	Оптимальные дозы питательных веществ, кг на 1 га.	Соотношение N, P ₂ O ₅ , K ₂ O
Озимая пшеница (35—40 ц зерна с 1 га)			
Северный Кавказ	131	140	1:1:0,3
Центрально-Черноземная зона	52	140	1:1,2:1,2
Донецко-Приднепровский	426	135	1:1,4:1
Юго-Западный	276	155	1:1,3:1
Южный	205	130	1:1,2:0,7
Озимая рожь (20—25 ц зерна с 1 га)			
Центральный	52	170	1:1:0,8
Юго-Западный	71	180	1:0,7:1,3
Литва	34	180	1:1:1
Белоруссия	170	200	1:1:1,3
Яровая пшеница (15-20 ц зерна с 1 га)			
Поволжский	331	110	1:1,2:0,5
Западно-Сибирский	216	115	1:1,1:0,7
Восточно-Сибирский	206	105	1:1,2:0,4
Казахстан(кроме юга)	168	55	0:1:0
Казахстан (юг)	115	120	1:1,4:0,6
Картофель (по фону органических удобрений) (200—250 ц клубней с 1 га)			
Центральный	229	205	1:0,7:0,8
Юго-Западный	170	225	1:0,7:0,8
Белоруссия	210	225	1:1,4:1,4
Сахарная свекла (250—300 ц корнеплодов с 1 га)			
Центрально-Черноземная зона	141	200	1:1,25:1,1
Северно-Кавказский	70	155	1:1,3:1,1
Донецко-Приднепровский	298	200	1:1:0,8
Юго-Западный	386	220	1:1,1:1,1
Хлопчатник (хлопок-сырец, 25 — 30 ц с 1 га)			
Узбекистан	39	340	1:0,7:0,14
Таджикистан	70	340	1:0,5:0,3
Туркменистан	54	290	1:0,6:0,2
Азербайджан	162	275	1:1:0,5

Обобщение многочисленных полевых опытов позволило также установить оптимальные нормы и соотношение NPK для получения заданного уровня урожайности важнейших сельскохозяйственных культур в основных районах их выращивания (табл. 2).

Определение норм необходимого количества удобрений на планируемый урожай по нормативам затрат удобрений на единицу прибавки урожая.

Средние рекомендуемые нормы удобрений могут устанавливаться для определенного планируемого уровня производства сельскохозяйственной продукции с учетом фактической обеспеченности минеральными удобрениями и уровня плодородия почв по нормативам затрат удобрений на единицу прибавки урожая. На основании данных массовых полевых опытов с удобрениями (только агрохимическая служба проводит в год 4,5 тыс. таких опытов с сельскохозяйственными культурами в различных зонах страны в производственных условиях) устанавливают средние нормативы затрат азотных, фосфорных и калийных удобрений на единицу прибавки урожая в оптимальных вариантах и долевое участие удобрений в урожае.

Норма минеральных удобрений $D_{N,P,K}$ в этом случае рассчитывается по формуле:

$$D_{N,P,K} = Y * I * H_{N,P,K} * C$$

где Y — планируемый урожай в ц/га, I — долевое участие удобрений в формировании урожая (в десятичных долях от 1), $H_{N,P,K}$ — затраты удобрений на единицу прибавки урожая, кг д. в. на 1ц. (определяются делением оптимальной нормы удобрения на полученную прибавку урожая в полевом опыте), C — поправочный коэффициент на агрохимические свойства почвы ($C=1$, если нормативы рассчитаны для определенного уровня агрохимических показателей почв).

В хозяйствах, где проведена бонитировка почв, нормы минеральных удобрений на планируемый урожай по нормативам затрат удобрений на единицу прибавки урожая рассчитывают по формуле:

$$D_{N,P,K} = [Y - (Bп * Bц)] * H_{N,P,K} * C$$

где $Bп$ — балл пашни конкретного поля, $Bц$ — цена балла пашни, $ц$ планируемой сельскохозяйственной продукции на 1 га.

Для пересчета на центнеры фактически используемого удобрения рассчитанную норму в килограммах действующего вещества на 1 га делят на процентное содержание действующего вещества в соответствующем удобрении.

Нормы удобрений на планируемую урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур и потребность в удобрениях определяют по нормативам затрат удобрений на единицу урожая с учетом типа и разновидности почвы, ее агрохимических показателей и степени эродированности, предшественника, его качества и удобренности, сортовых особенностей выращиваемой культуры, внесения органических удобрений и влияния погодных условий.

Балансовые методы определения потребности и норм удобрений

Определение норм удобрений на планируемую урожайность может производиться расчетными методами, в основе которых лежит баланс питательных веществ — сопоставление расхода элементов питания на формирование урожая (т. е. выноса элементов питания с урожаем культур) с поступлением питательных веществ из почвы и удобрений.

Вынос основных элементов питания на единицу урожая отдельных культур может значительно различаться в зависимости от условий выращивания. Поэтому для расчетов лучше пользоваться данными о выносе, полученными в хозяйстве или в типичных почвенных условиях ближайшими опытными учреждениями. Допустимо применение справочных данных о среднем выносе NPK на единицу урожая, однако при этом возрастает приближенность расчета.

Коэффициенты использования азота, фосфора и калия из навоза и минеральных удобрений также подвержены существенным колебаниям в зависимости от культуры, почвенно-климатических условий, нормы, времени внесения и способа заделки удобрений и т. д.

Для определения норм удобрений на планируемую прибавку урожайности необходимо располагать надежными данными об уровне урожайности без удобрений (или при уже используемом их количестве в хозяйстве). Расчетные методы норм удобрений на планируемую урожайность включают оценку возможного выноса элементов питания из запасов почвы за счет подвижных форм, определяемых с помощью агрохимического анализа. Однако коэффициенты использования подвижных форм питательных веществ из почвы различными культурами могут колебаться в широком интервале — для фосфора от 2 до 20% и более, а для калия — от 10 до 55%. Следовательно, эти методы применимы лишь при наличии экспериментально установленных коэффициентов использования элементов питания из подвижных форм в почве для отдельных культур в полевых опытах в конкретных почвенно-климатических условиях.

а) Определение норм минеральных удобрений с использованием коэффициентов возмещения выноса урожаем питательных веществ из почвы за счет применения удобрений

Коэффициенты возмещения выноса K_v определяют на основании результатов полевых опытов с удобрениями по формуле:

$K_{BN,P,K} = D_{opt} / Y_{opt} * V_{N,P,K}$ где D_{opt} - оптимальная норма удобрения, кг д. в. на 1 га; Y_{opt} — полученная при ее применении урожайность, ц на 1 га; V — вынос питательных веществ с единицей урожая, кг д. в. на 1 ц (определяется на основании данных химического анализа основной и побочной продукции).

Норма минеральных удобрений — $D_{N,P,K}$ в кг действующего вещества на 1 га на планируемый урожай (Y) с использованием коэффициента возмещения выноса рассчитывается по формуле — $D_{N,P,K} = YV K_B C$, где C — поправочный коэффициент на агрохимические свойства почвы.

б) Определение норм удобрений на основе выноса урожая и коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений

Коэффициенты использования питательных веществ из почвы (K_n) и удобрений (K_y) определяют по Данным полевых опытов и агрохимического анализа почвы путем следующего расчета:

$$K_y \% = (\square y * V / D_{opt}) * 100; K_n \% = (Y * V / \Pi) * 100$$

где $\square y$ — прибавка урожая, ц на 1 га, от внесения оптимальной нормы D_{opt} одного вида удобрения (N , P или K) на фоне двух других; Y — урожайность в фоновом варианте, ц на 1 га; V — вынос питательных веществ единицей урожая, кг д. в. на 1 ц; Π — содержание подвижных форм питательных веществ в почве, кг на 1 га (рассчитывается путем пересчета результатов агрохимического анализа почвы в мг на 100 г на массу пахотного горизонта почвы).

Норма азотных удобрений D_N , рассчитывается на планируемую прибавку урожая ($\square y$), а фосфорных и калийных удобрений $D_{P,K}$ — на весь планируемый урожай (Y) по формулам:

$$D_N = (\square y * V / K_y) * 100; D_{P,K} = (100 * Y * V - \Pi * K_n) / K_y$$

в) Определение норм удобрений на планируемую прибавку урожая сельскохозяйственных культур

На основе данных о расходе элементов питания на формирование единицы урожая устанавливают размер их выноса с планируемой прибавкой урожая. Необходимое количество питательных веществ в удобрениях для получения прибавки определяется введением поправки на плодородие почвы и с учетом коэффициента использования питательного вещества из удобрений.

Расчет норм удобрений на планируемую прибавку урожая ведут по формуле:

$$D_{N,P,K} = (100 * (Y_{п} - Y_{ф}) * V * C) / K_y$$

где $D_{N,P,K}$ — норма удобрения, кг д. в. (N , P_2O_5 или K_2O) на 1 га; $Y_{п}$ — планируемая урожайность, ц с 1 га; $Y_{ф}$ — фактический урожай за последние 3 года, ц с 1 га; V — вынос элемента питания, кг с 1 ц основной и соответствующим количеством побочной продукции; C — поправочный коэффициент на плодородие почвы; K_y — коэффициент использования растением элемента питания из удобрения, %.

При расчете на планируемую прибавку урожая таким способом удастся избежать использования весьма условных данных о величине потребления культурой питательных веществ из почвы.

г) Определение норм удобрений на планируемый урожай и желаемое изменение содержания подвижных форм фосфора и калия в почве

Если наряду с получением планируемой урожайности ставится задача повысить содержание подвижных форм фосфора и калия в почве, то потребная норма фосфорных и калийных удобрений (в кг д. в. на 1 га) может быть рассчитана по следующей формуле (А. В. Постников).

$$D_{P,K} = (Y * V / K) + (C_з - C_ф) * H / T$$

где Y — планируемая урожайность, ц на 1 га; V — вынос питательных веществ, кг д. в. на 1 ц; K — коэффициент использования питательных веществ удобрения с учетом действия, в десятичных долях от 1; $C_з$ и $C_ф$ — соответственно желаемое и фактическое содержание подвижных форм элементов питания в почве в мг на 100 г; H — норма расхода

удобрений в кг д. в. на 1 га сверх затрат на повышение урожая, необходимая для увеличения содержания подвижных форм фосфора и калия на 1 мг на 100 г почвы; T— время, за которое намечено получить желаемое содержание подвижных форм питательных веществ в почве, годы.

Различные расчетные методы целесообразно использовать для проверки правильности разработанной на основе экспериментальных и нормативных доз системы удобрения под отдельные культуры севооборота и для оценки возможных прибавок урожайности при принятых нормах органических и минеральных удобрений.

Правильность принятых норм и соотношений удобрений в севооборотах можно проверить сопоставлением прихода и расхода элементов питания, т. е. определением валового баланса питательных веществ за севооборот.

Сопоставление выноса элементов питания с урожаем культур за севооборот с их количеством в составе внесенных органических и минеральных удобрений позволяет представить в общем степень восполнения расхода отдельных питательных веществ из почвы. Однако такой баланс, называемый валовым, не отражает количественную сторону фактического использования элементов питания сельскохозяйственными культурами из удобрений. Валовой баланс успешно использовался для общей оценки расхода из почвы и поступления в нее элементов питания при ограниченном применении удобрений, когда урожай формировался в основном за счет почвенного плодородия и биологического азота.

Для оценки реального баланса питательных веществ, согласно принятой системе удобрения в севообороте (или хозяйстве), необходимо учитывать степень использования элементов питания сельскохозяйственными культурами из удобрений за ротацию, при оценке баланса в отдельных звеньях севооборота — коэффициенты использования элементов питания в первые три года из внесенных органических и минеральных удобрений. Эти данные устанавливают на основе обобщения результатов многолетних полевых опытов с удобрениями в севооборотах применительно к определенным почвенно-климатическим условиям. Примерные коэффициенты использования питательных веществ из удобрений приведены в таблице 3.

При оценке складывающегося баланса питательных веществ в севообороте или отдельных его звеньях нужно учитывать уровень потенциального почвенного плодородия, состав возделываемых культур, степень усвоения растениями внесенных с удобрениями элементов питания и другие факторы.

Для дерново-подзолистых и других малогумусированных почв, особенно легкого механического состава, необходимо стремиться к превышению прихода азота с удобрениями над выносом не менее чем на 15—20%. В то же время на богатых органическим веществом и, следовательно, азотом почвах (например, на осушенных низинных торфяниках и мощных черноземах) допустим небольшой дефицит этого элемента.

Баланс по фосфору должен быть всегда положительным, с превышением поступления над выносом не менее 50%. При малом содержании подвижных форм фосфора в большинстве почв нашей страны и низком усвоении фосфора из удобрений для поддержания и улучшения почвенного плодородия требуется обеспечивать возмещение этого элемента в 2—2,5 раза большее, чем вынос с урожаем. Баланс по калию на богатых калием тяжелых почвах и сероземах может иметь дефицит 10—30% (конечно, при этом необходимо учитывать наличие калиелюбивых культур в севообороте, уровень урожая и применения азотно-фосфорных удобрений), а на песчаных и супесчаных почвах дефицит калия недопустим. Следовательно, при разработке системы удобрения в севообороте должно предусматриваться разумное использование естественного плодородия почвы, а при более высоком уровне химизации земледелия — не только восстановление плодородия почвы, но и его расширенное воспроизводство.

Таблица 3 - Примерные коэффициенты использования питательных элементов из удобрений в отдельные годы и за ротацию севооборота

Годы действия	Коэффициенты использования, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Минеральные удобрения		
За ротацию	65-75	35-50	65-85
в том числе за: 1-й год	55-70	10-30	40-60
в том числе за: 2-й год	3-5	10-15	10-15
в том числе за: 3-й год	-	5-10	5-10
	Органические удобрения		
За ротацию	50-60	50-60	70-90
в том числе за: 1-й год	20-30	35-45	40-60
в том числе за: 2-й год	15-20	10-15	15-20
в том числе за: 3-й год	5-10	0-5	5-10

Таблица 4 -Примерные размеры возврата с удобрениями элементов минерального питания от их выноса растениями (по Дерюгину)

Обеспеченность почв элементами питания (классы)	Вносится за севооборот, % к выносу		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Низкая (I—II)	От +10 до+20	От +150 до + 120	От +15 до +10
Средняя (III—IV)	От 0 до +10	От +120 до +80	От 0 до — 20
Высокая (V—VI)	0	От +20 до +30	От 0 до — 40

На дерново-подзолистых и светло-серых дерново-подзолистых почвах, например, размеры возврата элементов питания в виде удобрений в полевых севооборотах с одним полем картофеля должны быть не ниже следующих величин (табл. 4).

Балансовый метод применяется также для оценки потребности в удобрениях и характеристики складывающегося круговорота питательных веществ в хозяйстве, по природно-экономическим районам, административным областям и в целом по стране.

Во внешнехозяйственном балансе сопоставляют размеры отчуждения элементов питания с товарной продукцией и их прихода с органическими и минеральными удобрениями, завозимыми кормами и семенами. Расчет внутрихозяйственного баланса, как и баланса в севообороте, включает сопоставление выноса питательных веществ с урожаем (всех видов продукции, убираемой с поля) с возмещением их с внесенными удобрениями. Эти статьи баланса имеют наибольший удельный вес в структуре потерь и возврате элементов питания. В полном хозяйственном балансе, кроме выноса с урожаем, могут учитываться потери питательных веществ из удобрений и почвы, а в приходной статье — возмещение не только с удобрениями, но и с семенами, атмосферными осадками, бобовыми культурами (азота). Балансовые расчеты в масштабе страны проводятся путем суммирования имеющихся разработок по зонам и республикам либо на основе использования данных о средневзвешенных размерах выноса элементов питания каждой культурой с учетом зональных особенностей в выносе на единицу продукции, существующей или планируемой структуры посевных площадей, урожайности и обеспеченности органическими и минеральными удобрениями.

Балансовые разработки применяются в дополнение к экспериментальным опытным данным для научного обоснования распределения минеральных удобрений между природно-экономическими районами, административными зонами и хозяйствами, а также по культурам. Недостатком балансового метода является необходимость использования большого количества расчетных величин при оценке размеров отдельных статей приходной и расходной частей баланса. Балансовые расчеты более надежны при использовании экспериментальных данных размеров выноса, коэффициентов использования элементов питания из удобрений и других показателей, полученных в полевых опытах с удобрениями в типичных севооборотах и конкретных почвенно-климатических условиях.

Балансовый метод используется при установлении норм минеральных удобрений для получения планируемого урожая культур с учетом обеспеченности почвы подвижными формами элементов питания, коэффициентов использования питательных веществ из удобрений и почвы, коэффициентов возмещения элементов питания и направленного изменения плодородия почвы с применением электронно-вычислительных машин.

Таким образом, определение оптимальных норм удобрений проводится на основе экспериментальных, нормативных и балансовых методов, а также экономико-математических методов (в том числе с использованием ЭВМ).

При разработке системы удобрений исходя из фактической обеспеченности минеральными удобрениями чаще всего применяются средние зональные нормы, уточняемые по агрохимическим показателям почвы. Для ведущих культур севооборотов в этом случае возможен расчет нормы удобрений на планируемый урожай различными методами.

Разработка системы удобрения на высокие планируемые урожаи всех культур севооборота (в том числе с учетом повышения плодородия почвы) может осуществляться в условиях полного обеспечения минеральными удобрениями по потребности. Такой уровень поставок удобрений достигнут в основных районах возделывания ведущих технических культур, а также в промышленных районах с высокой плотностью населения (например, в Московской и Ленинградской областях). В этих условиях возрастает значение балансовых расчетов для определения норм удобрений на планируемый урожай и направленного изменения актуального плодородия почвы.

Следует подчеркнуть, что наиболее достоверные результаты при определении оптимальных норм удобрений могут быть получены только на основе данных полевых опытов с удобрениями, особенно многолетних, в сочетании с разнообразными расчетными методами проверки правильности соотношения между отдельными элементами питания и предварительной агроэкономической оценки.

В заключение необходимо отметить, что при планировании уровня урожайности сельскохозяйственных культур, норм удобрений и их распределении в севооборотах должны учитываться весь комплекс природно-экономических факторов, организационно-хозяйственные условия и особенности питания растений. С возрастанием уровня химизации все большее значение приобретают повышение общей культуры земледелия, строгое соблюдение агротехники и осуществление мелиоративных мероприятий. Огромную роль играют также селекция и внедрение в производство высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур, обладающих повышенной отзывчивостью на удобрение.

Вопросы для самоконтроля

1. От каких условий зависят коэффициенты использования питательных веществ из почвы?
2. Почему коэффициенты использования фосфора и калия из органических удобрений выше, чем из минеральных?
3. Какие условия определяют использование питательных элементов из минеральных удобрений?
4. Расскажите об использовании питательных веществ в последствии.
5. Чем различаются расчеты доз удобрений балансовым методом с учетом обычных коэффициентов питательных веществ и балансовым методом с учетом балансовых коэффициентов использования питательных веществ?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин, И.П. Дерюгин, В.И. Кобзаренко. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Кидин, В.В. Система удобрения / В.В. Кидин. - М.: Изд-во РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. - 534 с. - ISBN 978-5-9675-0615-4.
3. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.

Дополнительная

1. Галимов, Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода / Э.М. Галимов. - М.: Недра, 1968. - 226с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ РАСТЕНИЙ В ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВАХ ВЕГЕТАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

13.1. Применение вегетационного метода для изучения взаимоотношений между растением, почвой и удобрением.

Вегетационный метод предусматривает проведение вегетационных опытов в специальных сосудах в вегетационных домиках. При этом создаются контролируемые и однородные во всех отношениях условия корневого питания, определяется действие удобрений на рост, развитие и урожайность растений.

Для лесных пород этот метод имеет ограниченную сферу применения и может быть использован, в основном, при исследовании молодых растений в первые несколько лет жизни. Вегетационный метод не может заменить полевых опытов, которые дают более приближенные к реальным сведения об эффективности удобрений в конкретных почвенно-климатических условиях.

Вегетационный метод имеет большое значение при исследовании необычайно сложных процессов взаимодействия растения, удобрения и почвы. Благодаря детальному расчленению фактов роста культур и их регулированию он позволил установить закономерности этого взаимодействия, что очень важно для правильного применения удобрений. Вегетационный метод исследования широко используется в физиологических и агрохимических экспериментах. Сосуды обычно ставят на специальные вагонетки, которые помещают в вегетационный домик, имеющий застекленную и незастекленную часть. Вегетационный домик служит для растений укрытием и защищает от дождя, ветра и небольших заморозков. В последнее время широкое распространение получили лаборатории искусственного климата, где растения выращивают в контролируемых условиях влажности, температуры и освещенности. Вегетационный метод для определения потребности растений в удобрениях не получил широкого распространения из-за большой трудоемкости и необходимости иметь специальные сооружения — вегетационный домик.

В вегетационных опытах первоначально испытывают все новые удобрения. Поэтому вегетационные домики имеют теперь не только кафедры агрохимии сельскохозяйственных институтов и агрохимические лаборатории научных учреждений, но и многие опытные станции. Больше того, на основе вегетационного метода выращивают огурцы, помидоры и другие овощные растения в производственных теплицах. Почву в них заменяют гравием, с добавлением питательного раствора (гидропоника).

В вегетационных опытах растения выращивают в искусственных условиях — сосудах. Первым инициатором внедрения вегетационного метода в нашей стране был К. А. Тимирязев. Им в 1872 г. был построен в Петровской сельскохозяйственной академии первый в России вегетационный домик. Затем в 1896 г. К. А. Тимирязевым был построен небольшой вегетационный домик с шестью вагонетками/на Всероссийской выставке в Нижнем Новгороде (ныне г. Горький); в этом домике на живых растениях, развивавшихся на глазах у многочисленных посетителей выставки, демонстрировались основные приемы выращивания растений в водных и песчаных культурах с целью установления потребности в необходимых для их роста питательных элементах; изучалось также действие различных искусственных удобрений.

Сущность вегетационного метода заключается в выращивании растений в искусственных условиях. Опыты ведутся в стеклянных или железных сосудах различной емкости. Средой для роста корней служит чистый кварцевый песок или дистиллированная вода. Удобство вегетационного метода, как уже отмечалось, состоит в том, что он дает возможность полного контроля за составом и концентрацией питательных веществ.

Благодаря вегетационному методу было совершенно точно установлено, какие элементы необходимы для нормального питания растений, а также выявлено, в виде каких соединений растения способны их усваивать. Вегетационными опытами были решены и сложные проблемы усвоения растениями аммиачного и нитратного азота, использования разными культурами фосфора из труднорастворимых фосфатов и др. Вегетационный метод позволил установить потребность растений в питательных веществах в разные периоды их роста.

Таким образом, вегетационный метод из научных лабораторий перешел в практику. К числу основных методов исследования, применяемых в агрохимии, в первую очередь относятся метод полевого опыта и вегетационный метод. Они, как писал К. А. Тимирязев, позволяют «спрашивать мнение самого растения». Вместе с полевым и вегетационным методом агрохимия широко использует лабораторные (химические, физико-химические, а иногда также и микробиологические) методы исследования растений, почв и удобрений. Наиболее надежные методы оценки устойчивости растений к экстремальным факторам — прямые полевые и вегетационные методы. Однако большая трудоемкость и продолжительность этих методов вынуждает исследователей применять разнообразные ускоренные лабораторные или лабораторно-полевые методы диагностики устойчивости растений. Для ознакомления с вегетационным методом мы остановимся только на почвенных культурах. Они являются наиболее распространенной модификацией вегетационных опытов. Потаенные культуры можно поставить даже при отсутствии вегетационного домика, имея лишь столы на светлой площадке с натянутой над ней сеткой (металлической или нейлоновой). Широкое использование вегетационного метода сыграло большую роль в развитии физиологии растений и агрохимии при выяснении вопросов механизма питания растений (поступление и превращение элементов питания, их обмен), роли отдельных элементов и факторов (тепло, свет, влага, питательные вещества, субстрат) в создании урожая и его качестве, выявлении наилучших видов, форм и доз удобрений, изучении свойств почв в связи с их влиянием на рост растений и отзывчивость их на удобрения, а также для оценки быстрых методов определения потребности растений в удобрениях.

В агрохимии «...задачей вегетационного метода является вскрытие существа процессов и уяснение значения отдельных факторов, прежде всего роли растения, почвы и удобрения в условиях, наиболее благоприятных для выявления этой роли» (Д.Н. Прянишников). Большинство лабораторных методов агрохимических исследований излагается в специальных руководствах. В этой главе описывается методика полевых опытов с удобрениями и вегетационный метод изучения питания растений, свойств почв и удобрений. Однако не следует думать, что вегетационный метод может заменить полевые опыты. Дело в том, что условия произрастания растений в вегетационном сосуде существенно отличаются от условий роста их в поле. Роль вегетационного метода заключается в том, что он позволяет «вскрыть существо процессов и уяснить значение отдельных факторов» (Д.Н. Прянишников). Следовательно, вегетационный опыт позволяет глубже понять причины тех явлений, которые происходят в полевых условиях.

В этой простейшей модификации вегетационного метода применяют цветочные горшки из обожженной глины, стеклянные или эмалированные сосуды с отверстием в дне. Чтобы избежать потери питательного раствора, такие сосуды ставят на хорошо подогнанные поддонники (цветочные горшки можно ставить в глубокие тарелки)

Но предложенное Митчерлихом условное применение вегетационного метода в этих целях не связано органически с признанием следующего пункта (постоянство факторов действия), это доказывает модификация, предложенная Висманом, который обходится совершенно без формулы Митчерлиха и, следовательно, без коэффициентов, но эмпирически (в песчаных культурах) устанавливает кривую действия, например, фосфора и с ней сравнивает результаты, полученные для испытуемой почвы.

В зависимости от характера и темы изучаемого вопроса вегетационный метод используют в разных модификациях: почвенные, песчаные, водные культуры, метод текучих растворов, изолированного питания и стерильные культуры.

Многие важные вопросы удобрения решены именно с помощью вегетационного метода (например, отзывчивость растений на фосфоритную муку как источник фосфорного питания или различная степень доступности растению фосфоритов разных месторождений и др.). Одним из первых агрохимиков, широко использовавших постановку вегетационных опытов при изучении вопроса об усвояемости свободного азота атмосферы при питании растений, был Буссенго (1837); позднее он же первый использовал вегетационный метод для изучения вопросов плодородия почв. К. А. Тимирязев по поводу работ Буссенго в развитии вегетационного метода писал: «Буссенго должно считать основателем того метода исследования, который получил название вегетационного, то есть метода, отправляющегося от фактов, наблюдаемых над растением, и завершающегося опытом, производимым над тем же растением». К. А. Тимирязев высоко ценил вегетационные опыты как метод исследования питания растений и был горячим сторонником их внедрения в России. Многие вопросы агрохимии и физиологии питания растений решаются при помощи вегетационного метода, то есть постановкой опытов с выращиванием растений в сосудах, в строго контролируемых условиях корневого питания и снабжения растений водой. В настоящее время в агрохимических исследованиях применяется много модификаций вегетационного метода, но основными являются почвенные, песчаные и водные культуры. Начало систематических научных исследований в области питания растений и применения удобрений с использованием и разработкой определенной методики, а именно полевого и вегетационного методов, связано в нашей стране с именами двух знаменитых русских ученых — Д.И. Менделеева и К.А. Тимирязева.

По вопросам влияния различных условий питания на урожай многолетних пшениц и главным образом в первые годы их жизни нами был проведен ряд опытов в 1944—1945 гг. как в поливных условиях, так и вегетационным методом, на основании которых были сделаны следующие предварительные выводы.

В опытах, проведенных в нашей лаборатории для изучения превращения азотных удобрений в почве и степени использования их растениями, применялся сульфат аммония, меченный по №5. Опыты проводились в условиях вегетационного метода в двух сериях. Получаемая при этом величина примерно в 1,5 раза больше максимальной гигроскопической влажности, определенной увлажнением воздушно-сухой почвы над 10%-ным раствором и соответствует влажности завядания, определенной вегетационным методом. Для изучения роли отдельных факторов роста и развития растений, прежде всего физиологического значения важнейших элементов их питания, а также для оценки плодородия почвы в связи с применением удобрений с успехом может быть использован вегетационный метод. Вегетационные опыты, в отличие от полевого, проводятся в искусственной обстановке (под стеклом на почве с нарушенной структурой или в песке, в условиях водной культуры). Таким образом, продуктивная влага в почве находится в интервале влажности ВЗ — НВ, а наиболее благоприятная, высокопродуктивная влага — ВРК—НВ. Нижним пределом содержания продуктивной влаги в почве является влажность завядания. Ее определяют вегетационными методами, наблюдая, при какой влажности растение завядает, или расчетным способом, умножая значение максимальной гигроскопичности на коэффициент 1,5. В гидрометеослужбе используют коэффициент 1,34. Показатели ВЗ необходимы для вычисления запасов продуктивной влаги.

Ряд кардинальных вопросов агрохимии, такие, как определение необходимых для жизни растений элементов, выяснение значения симбиоза клубеньковых бактерий с бобовыми культурами в фиксации атмосферного азота, сравнение аммиачного и нитратного питания растений, определение доступности для растений разных форм фосфатов и т. д., были успешно решены только с помощью вегетационного метода исследования.

Как было отмечено, в песчаных, а тем более в водных культурах, можно создать концентрацию питательного субстрата более равномерную, чем при почвенных культурах. Однако и в этих условиях растения в продолжение вегетации, потребляя те или иные питательные вещества, изменяют как концентрацию питательного субстрата, так и его реакцию. Если по условиям опыта надо иметь в течение длительного периода строго постоянную концентрацию питательных веществ или постоянное соотношение между элементами, и особенно когда изучают условия питания при постоянной реакции среды, используют модификацию вегетационного метода — метод текучих растворов. Постановка опыта методом текучих растворов — очень трудоемкая работа и чаще всего используется лишь при сравнительно коротких схемах. Примером использования методики текучих растворов могут служить работы, выполненные в лаборатории Д.Н. Прянишникова, о влиянии рН среды на поступление в растение KN_4 и NO_3 ионов.

К.А. Тимирязев, ставший впоследствии крупнейшим ученым-физиологом, прославившийся своими блестящими исследованиями по фотосинтезу, был в начале своей научной деятельности одним из участников проведения опытов с удобрениями по программе Менделеева. В дальнейшем Тимирязев постоянно возвращается в своих работах к вопросам питания растений и применения удобрений, подчеркивает огромное значение агрономических знаний для разрешения актуальных задач земледелия. Особое внимание Тимирязев уделял вопросу об источниках азота для растений. В частности, он неоднократно подчеркивал важнейшее значение в земледелии культуры бобовых растений как азотособирателей. Но, пожалуй, одной из наиболее важных заслуг Тимирязева в деле развития агрохимических исследований в нашей стране является введение им у нас вегетационного метода. В вегетационном методе Тимирязев видел одно из важнейших средств точного физиологического и агрохимического эксперимента; отдавая в то же время должное и методу полевому, он указывал на необходимость сочетания вегетационного и полевого методов в научной работе, направленной на разрешение агрономических вопросов.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие удобрения используют в вегетационных опытах и как рассчитывают их дозы?
2. Что понимают под балансом питательных веществ?
3. Назовите основные статьи поступления питательных веществ в почву.
4. Перечислите основные статьи расхода питательных веществ из почвы.
5. Какое количество сверх выноса необходимо внести фосфора и калия с удобрениями, чтобы увеличить содержание подвижных соединений этих элементов на 1 мг/100 г?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин, И.П. Дерюгин, В.И. Кобзаренко. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Кидин, В.В. Система удобрения / В.В. Кидин. - М.: Изд-во РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. - 534 с. - ISBN 978-5-9675-0615-4.
3. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.

Дополнительная

1. Галимов, Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода / Э.М. Галимов. - М.: Недра, 1968. - 226с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОСТИ РАСТЕНИЙ В УДОБРЕНИЯХ ЛАБОРАТОРНЫМИ МЕТОДАМИ

14.1. Методы химического анализа растений.

Определение потребности сельскохозяйственных культур и древесных растений в питательных веществах имеет своей конечной целью установление оптимальных доз удобрений. Для решения этой задачи существует несколько комплексных методов, главные из которых *лабораторные, вегетационный и полевой.*

Лабораторные методы предусматривают проведение агрохимических анализов почв и растений. Результаты агрохимического анализа почвенных образцов позволяют разработать оценочные шкалы плодородия почв и на их основе создать обоснованную систему удобрений.

В настоящее время при установлении степени обеспеченности почв лесных питомников питательными веществами руководствуются ориентировочными шкалами, разработанными для сельскохозяйственных культур, с некоторой корректировкой для лесных пород. Однако сведения о минеральном составе почвы не всегда отражают доступность элементов питания для растений. Для более достоверной оценки режима питания растений анализ почвы дополняют растительной диагностикой. В листьях, хвое или в целом в надземной части растения определяют питательные вещества, потребляемые растением. Определяя взаимосвязь содержания элементов питания в почве и растении с его биометрическими показателями, урожайностью, устанавливают так называемые предельные числа содержания элементов питания.

Оптимальное содержание основных питательных элементов в хвое сосны, ели и листьях березы средневозрастного насаждения найдено В.С. Погребняком, И.И. Смольяниновым, А.П. Щербаковым. Так, в хвое насаждений сосны содержание азота составляет 1,6—1,7%; фосфора — 0,14—0,16%; калия — 0,6—0,7%, а в хвое семян сосны 2,7—3,0%; 0,5—0,55% и 0,8—1,0% соответственно.

Лабораторные методы агрохимического анализа растений, почв и удобрений. Включают химические, биохимические и микробиологические методы, а также метод изотопных индикаторов (стабильные и радиоактивные изотопы). Ведущая роль среди лабораторных методов принадлежит химическому анализу агрономических объектов.

Агрохимический анализ растений проводят в целях: оценки качества урожая сельскохозяйственных культур, сертификации продукции растениеводства и кормов; оценки изменений химического состава, питательной, кормовой и технологической ценности растениеводческой продукции в зависимости от условий выращивания, в том числе применения удобрений; определения размеров выноса элементов питания с урожаем и динамики их потребления в течение вегетации; диагностики питания растений и определения потребности в удобрениях; изучения использования культурами питательных элементов из удобрений.

Агрохимический анализ почв позволяет: оценить обеспеченность растений элементами питания и, следовательно, потребность в удобрениях; осуществить мониторинг плодородия и сертификацию почв земельных участков и грунтов; изучить свойства почв, которые определяют принципиальные положения применения удобрений и проведения химической мелиорации, такие, как поглотительная способность, реакция почвенной среды и буферность (т.е. способность противостоять изменению реакции), засоленность и т.д.; выявлять изменения содержания питательных веществ в почве и их доступности растениям в зависимости от приемов возделывания и применения удобрений; изучать взаимодействие удобрений с почвой.

Агрохимический анализ удобрений дает возможность: оценить качество местных ор-

ганических удобрений и его изменение в зависимости от условий накопления, хранения и применения;определить содержание действующего вещества в минеральных удобрениях и мелиорирующих материалах для проверки их соответствия установленным стандартам и требованиям;установить агроэкологическую безопасность органических удобрений, производить сертификацию минеральных удобрений;определить доступность питательных веществ из удобрений и изучить процессы их превращения в почве.

Агрохимический анализ растений, почв и удобрений позволяет изучить баланс питательных веществ в земледелии и дать научное обоснование регулированию питания сельскохозяйственных культур с помощью удобрений. В агрохимических исследованиях широко используют математические методы для оценки точности опытов и достоверности полученных результатов, выявления зависимости между удобрениями и урожаем, моделирования процессов поглощения растениями, превращения в почве и потерь питательных веществ из почвы и удобрений, прогнозирования изменений почвенного плодородия и потребности в удобрениях, для энергетической и экономической оценки применения удобрений с использованием современной вычислительной техники. На основе результатов полевых и производственных опытов с обязательной агроэкологической и экономической оценкой изучаемых удобрений и приемов их внесения даются практические рекомендации производству, которые позволяют эффективно использовать разнообразные местные и промышленные удобрения. Агрохимия — научная основа интенсификации земледелия с помощью удобрений, которая наряду с комплексной механизацией и мелиорацией земель определяет научно-технический прогресс в сельском хозяйстве, служит одним из основных путей.

Вопросы для самоконтроля

1. Как используют анализ растений при изучении влияния почвы и удобрений на биохимические процессы в растениях?
2. Произведите расчеты для определения выноса элементов питания урожайностью сельскохозяйственных культур.
3. Перечислите основные приемы анализа растений.
4. Как используют результаты химического анализа растений при расчете доз удобрений?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин, И.П. Дерюгин, В.И. Кобзаренко. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.
2. Кидин, В.В. Система удобрения / В.В. Кидин. - М.: Изд-во РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева, 2012. - 534 с. - ISBN 978-5-9675-0615-4.

Дополнительная

1. Пискунов, А.С. Методы агрохимических исследований / А.С. Пискунов. – М.: КолосС, 2004. – 312 с. ISBN 5-9532-0145-1.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ

Показатели биологической активности почвы необходимы для характеристики ее как биологической системы и оценки степени ее изменения под влиянием антропогенного воздействия, в особенности повреждения токсикантами и техногенными перегрузками. Вследствие биохимических превращений в почве происходят важнейшие процессы детоксикации ксенобиотиков, ее самоочищения. Решающую роль в этих процессах играют ассоциации почвенных микроорганизмов, функционирующих как единое целое благодаря взаимосвязанным метаболическим реакциям. Стерилизующий эффект различных загрязнений приводит к выпадению чувствительных видов, распаду микробных ценозов, снижению биохимической активности почвы и деградации экосистем.

Известно много показателей, характеризующих различные аспекты биологического состояния почв. При изучении биологических реакций число регистрируемых откликов может быть практически бесконечным, поэтому выбор приемлемых показателей представляет собой весьма непростую задачу, которая при всей ее актуальности должного решения еще не получила. Можно говорить о нем лишь в первом приближении.

Для контроля за биологическим состоянием почвы важно отобрать наиболее интегральные показатели, поддающиеся инструментальному измерению и относящиеся к процессам с гомеостатическими механизмами. Под гомеостазом системы понимается механизм регуляции, упорядочивающий во времени изменение свойств в направлении устойчивости основных характеристик системы. Проявлением гомеостаза является определенный диапазон значений рН, ОВП, содержание и состав органического вещества, характерных для каждого типа почвы. Решающее значение в поддержании гомеостатического состояния почвы имеют элементарные почвенно-биологические процессы: разложение растительного опада, образование гумусовых веществ, разложение гумуса, деструкция минералов почвообразующей породы, минералообразование, глееобразование и др. Совершенно очевидно, что сущность основных почвенно-биологических процессов в почве заключается в превращении органических веществ. Для оценки их интенсивности многие авторы используют ферментативную активность почвы. На основе обобщения соответствующих данных предложена система оценки биологической активности почвы, включающая наряду с оценкой дыхания почвы по выделению углекислоты показатели ферментативной активности почвы в цикле углерода (дегидрогеназа, целлюлаза), азота (уреаза, нитрат-нитритредуктаза), фосфора (фосфатаза) и общую каталитическую активность почвы

Методы измерения общей биологической активности почв нельзя назвать во всех отношениях совершенными. Например, они не позволяют определять количественные и качественные характеристики биомассы микрофлоры, в связи с чем параллельно с измерением биологической активности почвы обычно приходится выявлять и содержание в ней почвенных микроорганизмов. Другой недостаток методов состоит в том, что они не регистрируют колебания в составе микробных популяций, происходящие в результате изменений внешних условий. Так, если в почву внести ингибитор, его влияние необязательно отразится на показателях биологической активности (например, на продуцировании CO_2).

Подавление развития той или иной группы микроорганизмов может сопровождаться более интенсивным размножением конкурентных групп, и в результате количество конечных продуктов метаболических процессов останется неизменным.

Результативность измерения в значительной мере зависит от химических и физических особенностей почвы, поэтому их обязательно следует учитывать при выборе метода.

15.1. Определение эмиссии CO_2 из почвы

Под *биологической активностью почв* понимают совокупность биологических процес-

сов, протекающих в почве. Для ее комплексной характеристики, позволяющей оценить интенсивность и направленность процессов, обусловленных жизнедеятельностью почвенной биоты, используют *микробиологические* (численность, состав различных групп микро- и мезоорганизмов, биомасса микроорганизмов и т.д.) и *биохимические* (уровень ферментативной активности, «дыхание» почвы и т.д.) показатели.

Повышению биологической активности почвы способствует внесение органических и бактериальных удобрений, использование сидератов и правильных севооборотов, а также применение мелиорантов (известки, гипса) для поддержания благоприятных физико-химических свойств почвы и мероприятий, улучшающих водный, окислительно-восстановительный и тепловой режимы.

Скорость выделения CO_2 из почвы косвенно характеризует ее биологическую активность. Основная масса CO_2 выделяется за счет процессов минерализации органических веществ.

Эмиссия CO_2 из почвы является суммарным показателем биологической активности почвы, поэтому ее интенсивность в значительной степени зависит от численности микроорганизмов.

15.2. Определение протеолитической активности

В составе растительных остатков и микробных тел в почву поступает значительное количество белковых веществ, аминокислот и других азотсодержащих органических соединений. В дальнейшем превращении этих соединений большую роль играют присутствующие в почве протеолитические и дезаминирующие ферменты. В результате процессов последовательного протеолитического расщепления до аминокислот и распада под действием амидогидролаз и дезаминаз с выделением аммиака азот белковых веществ превращается в доступную для высших растений форму. Это явление в целом известно как процесс аммонификации. Протеазы, амидогидролазы и дезаминазы, обуславливая динамику азота, играют важную роль в жизни почвы.

Протеолитические ферменты катализируют гидролитическое расщепление белковых веществ до пептидов и гидролиз этих продуктов до аминокислот. Расщепление белков и пептидов происходит по месту пептидных связей.

Протеазы делят на две группы: протеиназы и пептидазы. Первые из них расщепляют настоящие белки, а вторые катализируют распад полипептидов и дипептидов до аминокислот. Однако такое деление довольно условно.

При определении активности протеаз в почве в качестве субстрата обычно применяют казеин, желатину и некоторые пептиды. Активность протеаз учитывают по количеству аминокислот или других кислоторастворимых продуктов, освобождающихся при распаде белковых субстратов в почве, или по изменению физических свойств субстрата, например, по уменьшению вязкости.

Протеолиз— процесс ферментативного разложения белков, катализирующийся протеолитическими ферментами (протеазами).

Протеолиз играет большую роль в следующих процессах в организме:

- расщепление до аминокислот белков;
- расщепление собственных белков в процессе метаболизма;
- образование ферментов, гормонов и биологически активных пептидов из их неактивных предшественников;
- в растениях протеолиз участвует в мобилизации запасных белков семян при прорастании.

15.3. Определение целлюлозоразрушающей способности почвы.

Целлюлозоразлагающая активность почв является отражением минерализационных и деструкционных процессов, осуществление которых главным образом обуславливается определенным уровнем и соотношением активности ферментов (Безкоровайная, 2010). Актуальная целлюлозоразлагающая активность характеризует функционирование почвенных организмов в реальных экологических условиях, потенциальная активность, обусловленная активностью ферментов, продуцируемых почвенной биотой в оптимальных условиях - скрытую способность почвы вызывать ряд биологических процессов.

Из всех органических соединений в природе наиболее распространена целлюлоза.

Растения ежегодно образуют огромные количества целлюлозы, в которой углерод находится в виде органических соединений.

Биологический круговорот углерода — грандиозный процесс: достаточно себе представить, что при отмирании растений в почву попадает огромная масса растительных остатков, в лесах накапливается подстилка, на дно водоемов откладываются водоросли и т. д., и все они содержат целлюлозу и углерод в органической форме.

Целлюлозу в почве разлагают аэробные и анаэробные микроорганизмы. Аэробные целлюлозоразлагающие бактерии выделяют много слизи, которая участвует в процессах оструктурирования почвы и гумусообразования.

Одним из компонентов синтеза гуминовой кислоты являются продукты разложения клеточных стенок растений целлюлозоразлагающими микроорганизмами — миксобактериями. Полученные в данном процессе углеводы используются другими микроорганизмами (азотфиксирующими и т. д.), что также является важным моментом. Интенсивность разложения целлюлозы определяется почвенными условиями, а также содержанием фосфора, азота и других питательных веществ.

В карбонатных черноземах широко распространены целлюлозоразлагающие микроорганизмы, численность которых составляет 0,1—0,5 млн. на 1 г почвы. В разложении целлюлозы активно участвуют бактерии, в том числе актиномицеты. Меньшую активность проявляют грибы. В поверхностном горизонте (0—20 см) возделываемых участков этого типа почв высока численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов, значительную активность среди которых проявляют бактерии. Большая численность актиномицетов в выщелоченных черноземах свидетельствует о более медленном разложении целлюлозы в этих почвах.

В темно-серых лесных почвах больше бактерий и меньше грибов и актиномицетов, в оподзоленных преобладают целлюлозоразлагающие бактерии, а в серых лесных почвах — миксобактерии и грибы.

В смолницах численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов значительно варьирует по сезонам. Актиномицеты составляют от 40 до 90% общего количества целлюлозоразлагающих микроорганизмов, что дает основание предполагать медленное протекание процесса минерализации целлюлозы. В типичных и слабовыщелоченных коричневых лесных почвах бактерии, актиномицеты и грибы представлены почти в одинаковом соотношении. При оподзоливании таких почв отмечается тенденция к снижению численности бактерий, грибов и увеличению актиномицетов. В гумусно-карбонатных почвах менее распространены бактерии, но в них больше актиномицетов и грибов.

В целом данные по изучению распространения микроорганизмов и соотношений между их отдельными группами позволяют предположить, что разложение целлюлозы в почвах Болгарии протекает довольно интенсивно. Однако это зависит от особенностей типа почвы.

Целлюлозоразлагающая активность почвы зависит от численности, состава и активности микрофлоры. Проведенные исследования показывают, что она определяется главным образом содержанием азота, влажностью почвы и составом растительных остатков в ней. Более активно разлагается органическое вещество с высоким содержанием азота (остатки

бобовых культур), при этом стимулируется размножение аммонифицирующих бактерий и накапливается усвояемый азот, необходимый для жизнедеятельности целлюлозоразлагающих микроорганизмов.

Интенсивность разложения целлюлозы в большой степени зависит от влажности и содержания азота в почве, и наиболее активно этот процесс происходит весной и осенью. Температура и тип почвы оказывают незначительное влияние на интенсивность данного процесса. Важное значение имеют агротехнические приемы, применяемые при возделывании культур. Разложение целлюлозы — важный процесс, обусловленный наличием органического вещества в почве, и, следовательно, он поддается регулированию.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под биологической активностью почв?
2. Кратко охарактеризуйте процесс дыхания почвы.
3. Дайте пояснение процессу нитрификации.
4. Что такое целлюлозоразрушающая способность почв?
5. Кратко охарактеризуйте процесс протеолитического расщепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Биологические основы плодородия почвы / О.А. Берестецкий, Ю.М. Возняковская, Л.М. Доросинский. – М.: Колос, 1984. – 287 с.
2. Дыхание почвы / Г.А. Заварзин - Пушкино, 1993. - 144 с. ISBN 5-201-10580-7.
3. Звягинцев Д. Г. Биология почв: Учебник / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. - ISBN 5-211-04983-7.
4. Карягина, Л.А. Микробиологические основы повышения плодородия почв. – М.: Наука и техника, 1983. – 181 с.
5. Муха, В.Д. Практикум по агропочвоведению / В.Д. Муха, Д.В Муха, А.Л. Ачкасов. – М.: КолосС, 2010. – 367 с. – ISBN 978-5-9532-0718-8.
6. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева – М.: Дрофа, 2004. – 256 с. - ISBN 5-7107-7437-5.

Дополнительная

1. Кидин, В.В. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин. – М.: КолосС, 2008. – 599 с.