

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

ТЕОРИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

**краткий курс лекций
для аспирантов**

**Направление подготовки
35.06.01 Сельское хозяйство**

Саратов 2014

УДК 631.42:63.81(073)

ББК 40.4:41(Я7)

Н19

Рецензент:

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры
«Защита растений и плодоовощеводство»
ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет»
Л.И. Чекмарева

Теория минерального питания: краткий курс лекций для аспирантов направления подготовки 36.01.06 «Сельское хозяйство» / Сост.: В.П. Белоголовцев, Е.А. Нарушева // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2014. – 121 с.

Краткий курс лекций по дисциплине «Теория минерального питания» составлен в соответствии с программой дисциплины и предназначен для аспирантов направления подготовки 36.01.06 «Сельское хозяйство». В кратком курсе лекций изложена сущность взаимосвязи свойств почв и питания растений, теоретическое обоснование систем удобрения сельскохозяйственных культур, факторов, влияющих на эффективность удобрений, экологических проблем в связи с применением удобрений. Предложенный материал позволит аспирантам приобрести навыки в определении содержания питательных веществ в почве, в проведении анализа удобрений по качественным реакциям, в определении уровня плодородия зональных почв. Материал ориентирован на вопросы профессиональной компетенции будущих специалистов сельского хозяйства.

УДК 631.42:63.81(073)

ББК 40.4:41(Я7)

Н19

© Белоголовцев В.П., Нарушева Е.А., 2014

© ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014

Введение

Успехи современного земледелия в значительной мере связаны с широкомасштабным применением минеральных удобрений и других средств химизации. Данный подход к решению проблемы обеспечения населения продуктами питания, базирующийся на все большем вовлечении в круговорот вещества и энергии искусственных удобрений, содержит в себе и немало негативных моментов экологического и экономического характера. Общеизвестно и то, что увеличение объемов применения минеральных удобрений не сопровождается адекватным повышением продуктивности агроценозов. Данная стратегия не всегда позволяет разрешить противоречие между величиной урожая и его качеством, создать агроценозы с высокой устойчивостью продукционного процесса при неблагоприятных условиях произрастания растений. В качестве важнейшей остается и задача повышения эффективности минеральных удобрений, их окупаемости прибавочным урожаем, коэффициента использования элементов питания и уменьшения их потерь.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ СЕВООБОРОТАХ

1.1. Научные принципы построения системы удобрения

Постоянно растущая потребность в высококачественных продуктах питания и сырье для промышленности вызывает острую необходимость разработки и внедрения научно обоснованных приемов, обеспечивающих непрерывное повышение плодородия почв, урожая и качества сельскохозяйственной (продукции и высокоэффективное использование удобрений).

На современном этапе химизации земледелия первостепенное значение в повышении эффективности органических удобрений и промышленных туков отводится зональным системам удобрения, обеспечивающим в конкретных агроэкологических условиях реализацию потенциальной продуктивности интенсивных сортов и гибридов полевых культур, снижение энергоемкости продукции при одновременном воспроизводстве плодородия почвы и сохранении чистоты окружающей среды.

Наиболее важным фактором, определяющим уровень почвенного плодородия, является органическое вещество почвы, главным образом гумус. Однако при интенсивном земледелии с использованием удобрений значительно усиливаются процессы минерализации органического вещества. И хотя гумусовые соединения довольно устойчивы к разложению, эти процессы могут привести к заметному снижению в почве общих запасов гумуса. В результате утрачиваются ценные свойства почвы, что отрицательно оказывается на ее плодородии. В связи с этим оптимизация доз, сочетаний и способов размещения навоза и минеральных удобрений в интенсивных зерносвекловичных севооборотах, а также разработка обоснованных приемов сохранения стабильного уровня органического вещества в почве и биогенных элементов питания весьма актуальны для сельскохозяйственной науки и производства.

Накопленный за последние 40 лет экспериментальный материал свидетельствует о существенных различиях в эффективности удобрений как по природно-экономическим зонам страны, так и по годам в пределах одной и той же зоны и на одних и тех же почвенных разностях.

Неадекватная эффективность минеральных удобрений, наряду с другими причинами, во многом объясняется тем, что при разработке основных параметров их применения (дозы, сроки и приемы внесения) не всегда учитываются такие факторы агроэкологии, как потенциал продуктивности возделываемых сортов и гибридов полевых культур, взаимное влияние химических средств (удобрений, гербицидов, пестицидов), свойства почвы, ее увлажнение, градиент температуры и другие. Между тем имеющиеся в литературе данные свидетельствуют, что агроклимат создает такие условия в почве и растениях, при которых интенсивность и полнота усвоения питательных веществ удобрений существенно изменяются и это не может не оказать влияния на конечный результат — урожай и его качество.

Так, в результате географических опытов с удобрениями установлено, что с продвижением с запада на восток европейской территории России средние прибавки урожая зерновых от умеренных доз удобрений в одной и той же почвенной зоне составляют на западе 70%, на востоке 52%. Подобная закономерность наблюдается и по другим культурам.

По данным академиков В.Д. Панникова и В.Г. Минеева (1977), повышение температуры воздуха в мае—июле выше многолетней нормы на 1°C снижает прибавку урожая зерна от

внесения умеренных доз (NPK 120—180 кг/га) на черноземах в среднем на 20 кг/га. Возрастание дефицита влажности воздуха в мае на 1 миллибар влечет за собой падение эффективности удобрений в среднем на 40 кг/га, а в июне — на 4 кг/га (Федосеев, 1979).

В климатическом аспекте уменьшение годового количества осадков от северных к южным агрокультурным районам европейской территории России на 100 мм вызывает снижение эффективности доз удобрений в среднем на 110 кг/га зерна для зерновых культур в целом и на 190 кг/га для озимых культур. Уменьшение запасов продуктивной влаги в почве за период вегетации зерновых культур на 10 мм снижает эффективность удобрений на 10—20 кг/га.

По данным многолетнего опыта Тимирязевской сельскохозяйственной академии (Доспехов, 1972), в годы с сухим июнем (при осадках меньше 50 мм, температуре выше 18°C) эффективность полного минерального удобрения снижалась на 36%, во влажные годы (при осадках за июнь более 90 мм, температуре 16°C) оплата прибавкой урожая единицы питательных веществ возрастала на 52% по сравнению с оплатой в годы с нормальной влажностью (1997 и 1998 годы). Внесение навоза несколько смягчило влияние неблагоприятного сочетания метеорологических факторов. В сухие годы в тех же опытах эффективность удобрений по навозному фону снижалась только на 27%.

Варьирование эффективности NPK по черноземной зоне более выраженное и при средней прибавке $D = 0,52$ т/га составляет 44%, хотя установлено, что эффективность полного минерального удобрения (NPK), благодаря дополняющему взаимодействию слагающих его компонентов, обладает большей стабильностью. Действие отдельных компонентов удобрений порознь менее устойчиво. Так, варьирование эффективности азотных удобрений в отдельности повышается до 50%, фосфорных — до 65, калийных — до 75% (Доспехов, 1972).

Так, изменчивостью погодно-климатических условий объясняется от 30 до 65% колебаний эффективности удобрений.

Наиболее важным показателем эффективности удобрений является урожай. В нем отражается влияние биологических свойств растений, погоды, климата, почв и других условий экологической среды. Чрезвычайно важным представляется влияние на продуктивность возделываемых культур производственной деятельности человека. В зависимости от изменения каждого из этих компонентов и их сочетаний урожай может быть весьма различным. Наиболее чувствительны организмы с высоким уровнем обмена веществ и энергии. Например, новые высокопродуктивные сорта, обладающие повышенной чувствительностью к условиям экологической среды, нуждаются и в максимальной оптимизации водного, воздушного, теплового и пищевого режимов. Потенциальные биологические свойства генотипа наиболее полно проявляются в благоприятных условиях среды, когда, по выражению Н.И. Вавилова, «Генотип доминирует над внешней средой» и проявляется при неблагоприятных условиях. Такая же эффективность и большинства технологических приемов, в том числе и средств химизации. Это обусловлено, во-первых, тем, что климат влияет на растения не только непосредственно, но воздействует и на почвообразовательные и микробиологические процессы, благоприятствует или препятствует распространению сельскохозяйственных вредителей и болезней. Во-вторых, климат в меньшей степени поддается искусственному воздействию, чем другие факторы среды.

Таким образом, влияние агрометеорологических условий на интенсивность производственных процессов и эффективность удобрений в зоне неустойчивого и недостаточного увлажнения даже в условиях высокой культуры земледелия является весьма существенным, и их учет в практике химизации необходим и экономически целесообразен.

Внесение минеральных удобрений позволяет вводить в круговорот веществ в земледелии новое количество элементов питания растений, а часть питательных компонентов навоза и других отходов растениеводства, уже входящих в состав предыдущих урожаев, использовать повторно. Это создает возможность восполнять вынос питательных веществ урожаями и

непроизводительные потери их из почвы (вследствие ветровой и водной эрозии, выщелачивания, улетучивания в атмосферу и т.д.) и таким образом не только поддерживать, но и повышать ее плодородие.

Правильное использование минеральных удобрений при относительно меньших затратах средств и труда в сельском хозяйстве повышает экономическую эффективность сельскохозяйственного производства, обеспечивает получение большего количества продукции с каждого гектара, снижает ее себестоимость.

Однако высокая эффективность удобрений гарантируется только при оптимальном их сочетании с другими факторами интенсификации, интегрирующим показателем которого является урожай и его качество. При этом получение максимально экономически выгодного урожая базируется на использовании лучших сортов, сбалансированности питания растений в период всей вегетации, применении регуляторов роста и интегрированной системы защиты растений при обязательном, своевременном и качественном выполнении всех агротехнических мероприятий.

Рациональное использование удобрений и внедрение интенсивных технологий заметно ослабляют влияние неблагоприятных погодных условий.

Низкая же эффективность удобрений обуславливается тем, что в ряде хозяйств не соблюдаются требования законов земледелия, допускаются существенные отклонения в технологии применения удобрений. Такое явление нельзя считать удовлетворительным, так как экспериментальные данные и широкий производственный опыт убеждают в том, что при данном уровне научно-технического прогресса в земледелии удобрения, при правильном их использовании, обеспечивают высокий экономический эффект.

Развитие химизации позволяет заметно ослабить влияние неблагоприятных погодных условий, повысить культуру и продуктивность земледелия в целом.

Основная задача применения удобрений — регулирование круговорота питательных веществ с целью управления продуктивностью растений и качеством сельскохозяйственной продукции путем создания оптимальных уровней всех факторов, участвующих в формировании урожая. На данном этапе интенсификации земледелия ее решение немыслимо без теоретического обоснования и широкого практического использования законов, обуславливающих объективные процессы, которые происходят в природе и агрофитоценозах.

По времени открытия и общей значимости в биологии и земледелии центральное место занимает закон автотрофности зеленых растений. Он объединил теорию фотосинтеза и минерального питания растений. Зеленые растения, используя энергию солнечного света и поглощая из воздуха углекислый газ, а из почвы — воду и минеральные соединения, синтезируют все необходимые им органические вещества в количествах, обеспечивающих полное развитие и высокую урожайность культур.

Фотосинтетический процесс приводит к образованию высококачественной биохимической энергии, поддерживающей многообразные процессы жизни, в том числе и жизнедеятельность человека. Улучшение условий для фотосинтетической деятельности автотрофных растений обеспечивает рост продуктивности земледелия и других отраслей.

1.2. Изменение состава растений в связи с возрастом и условиями питания

В разные периоды роста растения предъявляют неодинаковые требования к условиям внешней среды, в том числе и к питанию. Поглощение растениями азота, фосфора и калия в течение вегетации происходит неравномерно.

Следует различать *критический период питания* (когда размеры потребления могут быть ограниченными, но недостаток элементов питания в это время резко ухудшает рост и

развитие растений) и *период максимального поглощения*, который характеризуется наиболее интенсивным потреблением питательных веществ.

В начальный период развития растения потребляют относительно небольшие абсолютные количества всех питательных веществ, но весьма чувствительны как к недостатку, так и к избытку их в растворе.

Начальный период роста — критический в отношении фосфорного питания. Недостаток фосфора в раннем возрасте настолько сильно угнетает растения, что урожай резко снижается даже при обильном питании фосфором в последующие периоды.

Недостаток азота в этот период даже при усиленном питании в последующем приводит к уменьшению числа колосков в метелке или колосе и снижению урожая.

Размеры потребления всех элементов питания растениями значительно возрастают в период интенсивного роста надземных органов — стеблей и листьев. Темпы накопления сухого вещества могут опережать поступление питательных веществ, а относительное их содержание в растениях снижается по сравнению с предшествующим периодом. Ведущая роль в ростовых процессах принадлежит азоту. Повышенное азотное питание способствует усиленному росту вегетативных органов, формированию мощного ассимиляционного аппарата. Недостаток же азота в этот период приводит к угнетению роста, а в последующем — к снижению урожая и его качества.

Ко времени цветения и начала плодообразования потребность в азоте у большинства растений уменьшается, но возрастает роль фосфора и калия. Это обусловлено физиологической ролью последних — их участием в синтезе и передвижении органических соединений, обмене энергии, особенно интенсивно происходящих при формировании репродуктивных органов и образовании запасных веществ в товарной части урожая.

В период плодообразования, когда нарастание вегетативной массы заканчивается, потребление всех питательных веществ постепенно снижается, а затем их поступление приостанавливается. Дальнейшее образование органического вещества и другие процессы жизнедеятельности обеспечиваются в основном за счет повторного использования (реутилизации) питательных веществ, ранее накопленных в растении.

Различные сельскохозяйственные культуры отличаются по размерам и интенсивности поглощения питательных элементов в течение вегетационного периода.

Неодинаковая количественная потребность и интенсивность поглощения растениями отдельных элементов питания должна учитываться при разработке ***системы применения удобрений***. Особенно важно обеспечить благоприятные условия питания растений с начала вегетации и в периоды максимального поглощения. Это достигается сочетанием различных способов внесения удобрений: в основное удобрение до посева, при посеве и в подкормки.

Задача *основного удобрения* — обеспечение питания растений на протяжении всей вегетации, поэтому до посева в большинстве случаев применяют полную норму органических удобрений и подавляющую часть минеральных. *Припосевное удобрение* (в рядки, при посадке в лунки, гнезда) в относительно небольших дозах вносят для снабжения растений в начальный период развития легкодоступными формами питательных веществ, прежде всего фосфора. Для снабжения растений элементами питания в наиболее ответственные периоды вегетации применяются *подкормки* в дополнение к основному и припосевному удобрению (в отдельных случаях в подкормки может вноситься значительная доля общей нормы удобрений, например азота под озимые, хлопчатник и т. д.). Выбор срока, способа внесения удобрений и заделки их в почву зависит не только от особенностей биологии, питания и агротехники культур, но и от почвенно-климатических условий, вида и формы удобрений.

Регулируя условия питания растений по периодам роста в соответствии с их потребностью путем внесения удобрений, можно направленно воздействовать на величину

урожая и его качество.

1.3. Биогенные элементы и биогенные вещества

Функции каждого макро- и микроэлемента в растениях строго специфичны, ни один элемент не может быть заменен другим. Недостаток любого макро- или микроэлемента приводит к нарушению обмена веществ и физиологических процессов у растений, ухудшению их роста и развития, снижению урожая и его качества. При остром дефиците элементов питания у растений появляются характерные признаки голодания.

Азот. Входит в состав белков, ферментов, нуклеиновых кислот, хлорофилла, витаминов, алкалоидов.

Уровень азотного питания определяет размеры и интенсивность синтеза белка и других азотистых органических соединений в растениях и, следовательно, ростовые процессы. Недостаток азота особенно резко сказывается на росте вегетативных органов. Характерным признаком азотного голодания является торможение роста вегетативных органов растений и появление бледно-зеленой или даже желто-зеленой окраски листьев из-за нарушения образования хлорофилла. Азот повторно используется (реутилизируется) в растениях, поэтому признаки его недостатка проявляются сначала у нижних листьев. Пожелтение начинается с жилок листа и распространяется к краям листовой пластинки. При остром и длительном азотном голодании бледно-зеленая окраска листьев растений переходит в различные тона желтого, оранжевого и красного цвета (в зависимости от вида растений), затем пораженные листья высыхают и преждевременно отмирают.

При нормальном снабжении азотом листья темно-зеленые, растения хорошо кустятся, формируют мощный ассимиляционный стебле-листовой аппарат, а затем полноценные репродуктивные органы. Избыточное, особенно одностороннее, снабжение растений азотом может вызвать замедление их развития (созревания) и ухудшить структуру урожая. Растения образуют большую вегетативную массу в ущерб товарной части урожая. У корне- и клубнеплодов избыток азота может привести к израстанию ботвы, а у зерновых и льна — к полеганию посевов.

Фосфор. Играет исключительно важную роль в процессах обмена энергии в растительных организмах. При недостатке фосфора нарушается обмен энергии и веществ в растениях.

Особенно резко дефицит фосфора сказывается у всех растений на образовании репродуктивных органов. Его недостаток тормозит развитие и задерживает созревание, вызывает снижение урожая и ухудшение качества продукции. Растения при недостатке фосфора резко замедляют рост, листья их приобретают (сначала с краев, а затем по всей поверхности) серо-зеленую, пурпурную или красно-фиолетовую окраску. У зерновых злаков дефицит фосфора снижает кущение и образование плодородных стеблей. Признаки фосфорного голодания обычно проявляются уже на начальных стадиях развития растений, когда они имеют слабо развитую корневую систему и не способны усваивать труднорастворимые фосфаты почвы.

Усиленное снабжение растений фосфором ускоряет их развитие и позволяет получать более ранний урожай, одновременно улучшается качество продукции.

Калий. Участвует в процессах синтеза и оттока углеводов в растениях, обуславливает водоудерживающую способность клеток и тканей, влияет на устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды и поражаемость культур болезнями.

Внешние признаки калийного голодания проявляются в побурении краев листовых пластинок — «краевом запале». Края и кончики листьев приобретают «обоженный» вид, на пластинках появляются мелкие ржавые крапинки. При недостатке калия клетки растут

неравномерно, что вызывает гофрированность, куполообразное закручивание листьев. У картофеля на листьях появляется также характерный бронзовый налет.

Особенно часто недостаток калия проявляется при возделывании более требовательных к этому элементу картофеля, корнеплодов, капусты, силосных культур и многолетних трав. Зерновые злаки менее чувствительны к недостатку калия. Но и они при остром дефиците калия плохо кустятся, междоузлия стеблей укорачиваются, а листья, особенно нижние, увядают даже при достаточном количестве влаги в почве.

Кальций. Играет важную роль в фотосинтезе и передвижении углеводов, в процессах усвоения азота растениями. Он участвует в формировании клеточных оболочек, обуславливает обводненность и поддержание структуры клеточных органелл.

Недостаток кальция сказывается, прежде всего, на состоянии корневой системы растений: рост корней замедляется, не образуются корневые волоски, корни ослизняются и загнивают. При дефиците кальция тормозится также рост листьев, у них появляется хлоротичная пятнистость, затем они желтеют и преждевременно отмирают. Кальций в отличие от азота, фосфора, калия не может повторно использоваться (реутилизироваться), поэтому признаки кальциевого голодания проявляются, прежде всего, на молодых листьях.

Магний. Входит в состав хлорофилла, участвует в передвижении фосфора в растениях и углеводном обмене, влияет на активность окислительно-восстановительных процессов. Магний входит также в состав основного фосфорсодержащего запасного органического соединения — фитина.

При недостатке магния снижается содержание хлорофилла в зеленых частях растений и развивается хлороз между жилками листа (жилки остаются зелеными). Острый дефицит магния вызывает «мраморовидность» листьев, их скручивание и пожелтение.

Сера. Имеет важное значение в жизни растений. Основное количество ее в растениях находится в составе белков (сера входит в состав аминокислот цистеина, цистина и метионина) и других органических соединений — ферментов, витаминов, горчичных и чесночных масел. Сера принимает участие в азотном, углеводном обмене растений и процессе дыхания, синтезе жиров. Больше серы содержат растения из семейства бобовых и крестоцветных, а также картофель.

При недостатке серы образуются мелкие, со светлой желтоватой окраской листья на вытянутых стеблях, ухудшаются рост и развитие растений.

Железо. Входит в состав окислительно-восстановительных ферментов растений и участвует в синтезе хлорофилла, процессах дыхания и обмена веществ.

При недостатке железа (что обычно проявляется только на карбонатных или переувлажненных почвах) вследствие нарушения образования хлорофилла у сельскохозяйственных культур, особенно винограда и плодовых деревьев, развивается хлороз. Листья теряют зеленую окраску, затем белеют и преждевременно опадают.

Бор. Оказывает большое влияние на углеводный, белковый и нуклеиновый обмен, ряд других биохимических процессов в растениях. При его недостатке нарушаются синтез и особенно передвижение углеводов, формирование репродуктивных органов, оплодотворение и плодоношение. Бор не может реутилизироваться в растениях, поэтому при его недостатке страдают, прежде всего, молодые растущие органы, происходит отмирание точек роста. Более требовательны к бору и чувствительны к его недостатку корнеплоды, подсолнечник, бобовые, лен, картофель и овощные растения. Дефицит бора вызывает поражение сердцевинной гнилью корнеплодов, появление дуплистости корней. У подсолнечника острый дефицит бора вызывает полное отмирание точки роста либо при более позднем проявлении недостатка бора наблюдается ненормальное развитие цветков, пустоцвет и снижение урожая семян. При борном голодании бобовых нарушается развитие клубеньков на корнях и снижается симбиотическая фиксация молекулярного азота из атмосферы, замедляются рост и

формирование репродуктивных органов. Картофель при недостатке бора поражается паршой, у плодовых деревьев появляется суховершинность, развиваются наружная пятнистость и опробковение тканей плодов.

Молибден. Молибдену принадлежит исключительная роль в азотном питании растений. Он участвует в процессах фиксации молекулярного азота (бобовыми в симбиозе с клубеньковыми бактериями и свободноживущими почвенными азотфиксирующими микроорганизмами) и восстановлении нитратов в растениях. Особенно требовательны к наличию молибдена в почве в доступной форме бобовые культуры и овощные растения — капуста, листовые овощи, редис. Внешние признаки недостатка молибдена сходны с признаками азотного голодания — резко тормозится рост растений, вследствие нарушения синтеза хлорофилла они приобретают бледно-зеленую окраску. Дефицит молибдена ограничивает развитие клубеньков на корнях бобовых, резко тормозит рост растений, они приобретают бледно-зеленую окраску, наблюдаются деформация листовых пластинок и преждевременное отмирание листьев, резко снижается урожай и содержание белка в растениях. Недостаток молибдена при больших дозах азота может приводить к накоплению в растениях, особенно овощных и кормовых, повышенных количеств нитратов, токсичных для животных и человека.

Марганец. Входит в состав окислительно-восстановительных ферментов, участвующих в процессах дыхания, фотосинтеза, углеводного и азотного обмена растений. Он играет важную роль в усвоении нитратного и аммонийного азота растениями. Наиболее чувствительны к недостатку марганца и требовательны к его наличию в доступной форме в почве свекла и другие корнеплоды, картофель, злаковые, а также яблоня, черешня и малина.

Самый характерный симптом марганцевого голодания — точечный хлороз листьев. На листовых пластинках между жилками появляются мелкие желтые хлоротичные пятна, затем пораженные участки отмирают.

Медь. Также входит в состав целого ряда окислительно-восстановительных ферментов и принимает участие в процессах фотосинтеза, углеводного и белкового обмена. Недостаток доступной растениям меди на осушенных торфянисто-болотных почвах с нейтральной или щелочной реакцией вызывает «болезнь обработки», или «белую чуму», у зерновых культур. Заболевание начинается с внезапного побеления и засыхания кончиков листьев. Пораженные растения совсем или частично не образуют колосьев или метелок, а образующиеся соцветия бесплодны либо слабо озернены. При недостатке меди резко снижается урожай зерна, а при остром медном голодании наблюдается полное отсутствие плодоношения.

Цинк. Оказывает многостороннее действие на обмен энергии и веществ в растениях, что обусловлено его участием в составе ряда ферментов и в синтезе ростовых веществ — ауксинов. При недостатке цинка резко тормозится рост растений, нарушается фотосинтез, процессы фосфорилирования, синтез углеводов и белков, обмен фенольных соединений.

Специфические признаки цинкового голодания — задержка роста междоузлий, появление хлороза и мелколиственности, развитие розеточности. От недостатка цинка чаще всего страдают плодовые и цитрусовые культуры на нейтральных и слабощелочных карбонатных почвах с высоким содержанием фосфора.

При заболевании «розеточностью» от дефицита цинка на концах молодых побегов образуются мелкие листья, располагающиеся в форме розетки. При сильном поражении ветви отмирают, что приводит к появлению «суховершинности».

Хлор. Необходим растениям в небольшом количестве, он совместно со щелочными и щелочноземельными ионами положительно влияет на обводненность тканей и набухаемость протоплазмы клеток. Этот элемент активизирует ферменты, осуществляющие реакции фотоллиза при фотосинтезе, однако только у отдельных видов растений потребность в этом элементе высока. Различные растения по-разному отзываются на концентрацию хлора в

почвенном растворе — на практике больше приходится сталкиваться с избытком хлора, особенно в засушливых условиях. Положительно относятся к хлору такие культуры, как редис, шпинат, мангольд, сельдерей, сахарная свекла. К хлорофобным растениям, отрицательно реагирующим на повышенное содержание хлора в почве, относятся: табак, виноград, тыква, фасоль, картофель, томаты, плодовые и ягодные культуры.

Признаком дефицита хлора, наблюдающегося крайне редко, является хлороз листьев.

Натрий. Относится к элементам, которые условно необходимы растениям. В химическом и физиологическом отношении натрий близок к калию. Калий может практически всегда заменить натрий, однако сам натрием не заменяется. Имеется ряд ферментов, которые активируются натрием, но значительно в меньшей мере, чем калием. Одни растения могут усваивать значительные количества натрия, другие обладают весьма малой способностью к его поглощению. Кроме того, у натриефобных растений поступление натрия из корня в надземные органы ограничено (например, у бобов). Шпинат, томат — относят к натриефилам, они положительно отзываются на натрий, особенно когда недостаточно обеспечены калием. У натриефильных растений натрий улучшает водный баланс.

Кремний. Относится к элементам, которые условно необходимы растениям. Он откладывается в клетках в аморфной форме (в виде опала) и связывается в растительном организме в силикатгалактозный комплекс и таким образом влияет на обмен веществ, укрепляет стенки клеток, нормализует поступление и распределение в растении марганца, устраняя его токсическое действие при избыточном содержании.

У некоторых культур под действием кремния происходит усиленный рост, у других повышается устойчивость к мучнистой росе. В сельском хозяйстве практическое применение кремний находит при выращивании риса, где при недостатке кремния урожайность зерна может снижаться на 50%.

Титан. Входит в состав ферментов, которые активизируют метаболические процессы в растении в период его роста и развития, интенсифицируют фотосинтез и впитывание питательных веществ из почвы. Главное значение титана в жизни растений — стимуляция процесса опыления, оплодотворения и завязи плодов, ускорение их роста, и как следствие — начала уборки урожая. Укрепляет иммунную систему растений — повышается устойчивость к грибковым и бактериальным заболеваниям.

Кобальт. Микроэлемент, необходимый для биологической фиксации молекулярного азота и являющийся компонентом витамина В₁₂. Недостаток кобальта (внешние признаки сходны с симптомами азотного голодания) может проявляться, прежде всего, у бобовых культур. При низком содержании кобальта в кормах у животных развивается анемия, резко снижается аппетит и падает продуктивность.

Недостаток или избыток других микроэлементов также приводит к заболеванию людей и животных. Например, низкое содержание **йода** в почвах, а, следовательно, растительной пище и кормах вызывает воспаление щитовидной железы, недостаток марганца — появление бесплодия, меди — малокровия и заболевания рахитом, избыток молибдена — желудочных расстройств и т.д. Необходимость регулирования питания растений в отношении отдельных элементов в агрономической практике далеко не одинакова. Микроэлементы нужны растениям в ограниченных количествах. Вынос этих элементов с урожаем сельскохозяйственных культур составляет лишь десятки или сотни граммов на 1 га, и потребность во многих из них может полностью удовлетворяться за счет почвы и применяемых органических удобрений, а нередко только за счет запасов в семенах. Однако недостаток отдельных микроэлементов у более требовательных к их наличию культур может проявляться на почвах с низким содержанием доступных для растений форм микроэлементов. Применение микроэлементов в виде соответствующих микроудобрений может в этом случае значительно повысить урожай сельскохозяйственных культур и

улучшить качество получаемой продукции. Такие макроэлементы, как кальций, магний и сера, обычно содержатся в большинстве почв в количествах, достаточных для обеспечения растений. Кроме того, они вносятся в почву с мелиорирующими материалами (известью и гипсом), а также в составе применяемых органических и минеральных удобрений. Для улучшения питания сельскохозяйственных культур в полевых условиях чаще всего необходимо внесение азота, фосфора и калия.

При систематическом длительном применении удобрений происходит закономерная смена минимумов питательных веществ, а, следовательно, и эффективности отдельных видов удобрений. В черноземах данный минимум переходит от фосфора к азоту, а при достижении требуемого или высокого уровня фосфатов в почве — к азоту и калию. Оптимизация минерального питания полевых культур с учетом этой закономерности требует уточнения природы действия азотных, фосфорных и калийных удобрений при длительном систематическом их применении в интенсивных севооборотах на важнейшие физиолого-биохимические процессы и обоснования приемов эффективного их использования на черноземных почвах.

Ведущая роль в формировании высоких и стабильных урожаев полевых культур принадлежит азоту. Рост темпов производства и применения органических удобрений и промышленных туков, внедрение интенсивных технологий, высокопродуктивных сортов и гибридов полевых культур определяют необходимость разработки приемов эффективного использования азотного фонда почв при одновременном сохранении их плодородия и рационального использования азотных удобрений, поиска надежных методов прогноза потребности в дополнительном их внесении.

В земледелии отмечен возрастающий дефицит фосфора, обусловленный ограниченными запасами его в природе. Кроме того, данный биогенный элемент усваивается растениями из удобрений лишь на 20—30%. Длительное систематическое применение фосфорных удобрений в севообороте способствует накоплению фосфатов в почве и изменению их состава. Нарастают запасы кумулятивных фосфатов, которые повышают напряженность экологической среды в почве и негативно влияют на метаболизм растений.

Необходимым биогенным элементом является также и калий. Главным его источником для питания растений служит обменный калий, запасы которого от общего содержания калия в почве составляют 1,2—1,5%.

Доступность обменного калия для растений обусловлена способностью при обмене с другими катионами легко переходить в почвенный раствор. По мере его использования растениями из почвенного раствора этот процесс постепенно замедляется, а оставшийся в почве удерживается в поглощенном состоянии. Недостаток или избыток калия негативно отражается на физиолого-биохимических процессах, обуславливающих уровень урожая и его качество. Вопросы выявления прогноза действия фосфорных и калийных удобрений при систематическом длительном их применении в интенсивных севооборотах на механизм продукционных процессов, формирования качества продукции и восполнения их запасов в почве весьма актуальны.

При внедрении эффективных систем земледелия важное значение приобретает освоение севооборотов с насыщением их необходимыми для хозяйства культурами, которые всесторонне влияют на сложные биохимические процессы, протекающие в почве, ее водный и пищевой режимы, физическое состояние. В связи с этим размещение культур по звеньям севооборота и предшественникам требует уточнения, теоретического подхода к разработке и обоснованию системы их удобрения.

Вопросы для самопроверки

1. Какова доля участия удобрений в формировании урожая в мире?
2. Назовите факторы, влияющие на эффективность удобрений и продуктивность сельскохозяйственных культур.
3. Назовите эффективные способы и сроки применения разных видов минеральных удобрений в зависимости от влагообеспеченности в течение вегетационного периода?
4. В чём причина снижения качества зерна пшеницы и как его повысить?
5. Какова доля участия разных видов удобрений в прибавке урожая в зависимости от погодно-климатических условий?
6. В чём сущность закона возврата веществ в почву?
7. Охарактеризуйте многосторонность действия климата при возделывании сельскохозяйственных культур.
8. Как изменяются коэффициенты водопотребления при применении удобрений?
9. Что такое баланс питательных веществ?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агропочвоведение. Под ред. В.Д Мухи. – М.: КолосС, 2004. – 528 с.
2. Агрохимия. Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
3. Агрохимическая характеристика почв СССР. М. Наука 1968г. 384с.

Дополнительная

1. Агрохимия / Б.А. Ягодин и [др.]: учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
2. Агрохимия: учебник / ред.: Б. А. Ягодин. - М.: Колос, 1982. - 574 с.
3. Агрохимия и система удобрения: учебное пособие / Н.Х. Дудина. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 400 с.
4. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат. 1990.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

2.1. Питание растений

Высшие растения являются автотрофными организмами, т. е. они сами синтезируют органические вещества за счет минеральных соединений, в то время как для животных и подавляющего большинства микроорганизмов характерен гетеротрофный тип питания — использование органических веществ, ранее синтезированных другими организмами. Накопление сухого вещества растений происходит благодаря усвоению углекислого газа через листья (так называемое «воздушное питание»), а воды, азота и зольных элементов — из почвы через корни («корневое питание»).

Воздушное питание.

Фотосинтез является основным процессом, приводящим к образованию органических веществ в растениях. При фотосинтезе солнечная энергия в зеленых частях растений, содержащих хлорофилл, превращается в химическую энергию, которая используется на синтез углеводов из углекислого газа и воды. На световой стадии процесса фотосинтеза происходит реакция разложения воды с выделением кислорода и образованием богатого энергией соединения (АТФ) и восстановленных продуктов. Эти соединения участвуют на следующей темновой стадии в синтезе углеводов и других органических соединений из CO_2 .

Путем дальнейших превращений из простых углеводов в растениях образуются более сложные углеводы, а также другие безазотистые органические соединения. Синтез аминокислот, белка и других органических азотсодержащих соединений в растениях осуществляется за счет минеральных соединений азота (а также фосфора и серы) и промежуточных продуктов обмена — синтеза и разложения — углеводов. На образование разнообразных сложных органических веществ, входящих в состав растений, затрачивается энергия, аккумулированная в виде макроэргических фосфатных связей АТФ (и других макроэргических соединений) при фотосинтезе и выделяемая при окислении — в процессе дыхания — ранее образованных органических соединений.

Интенсивность фотосинтеза и накопление сухого вещества зависят от освещения, содержания углекислого газа в воздухе, обеспеченности растений водой и элементами минерального питания.

В естественных условиях через листья осуществляется углеродное питание, а основным путем поступления в растения воды, азота и зольных элементов является корневое питание.

Корневое питание

Азот и зольные элементы поглощаются из почвы деятельной поверхностью корневой системы растений в виде ионов (анионов и катионов). Растения усваивают ионы не только из почвенного раствора, но и ионы, поглощенные коллоидами. Благодаря растворяющей способности корневых выделений, включающих угольную кислоту, органические кислоты и аминокислоты, растения воздействуют на твердую фазу почвы, переводя необходимые питательные вещества в доступную форму.

Изучение функции зародышевых и узловых корней показало важную роль узла кущения в распределении воды и минеральных веществ. Узел кущения состоит из рыхлой пористой паренхимной ткани, поэтому вещества, передвигающиеся по проводящим путям корней, легко переходят из одного проводящего сосуда в другой и, следовательно, могут быть использованы любой надземной частью растений. Корни узла кущения обладают высокой

поглощительной способностью и играют более значительную роль в питании растений, чем зародышевые корни. Особенно возрастает их роль в период кущения злаков, когда происходит усиленное ветвление узловых корней. Зародышевые корни частично участвуют в питании растений и на более поздних этапах развития.

Корни являются не только органами поглощения минеральных элементов и воды. Они обладают синтетической способностью. В них образуются многие органические соединения: белки, аминокислоты, амиды, алкалоиды, фитогормоны.

Поглощение элементов минерального питания растениями в зависимости от характера затрачиваемой энергии может быть активным и пассивным. Активное поглощение требует затрат метаболической энергии, пассивное – происходит без затрат метаболической энергии, а совершается за счет энергии тепловой диффузии или за счет солнечной энергии.

2.2. Влияние внешней среды на условия питания растений

Поглощение растениями питательных веществ в большой степени зависит от свойств почвы — реакции и концентрации почвенного раствора, температуры, аэрации, влажности, содержания в почве доступных форм питательных веществ, продолжительности и интенсивности освещения и других условий внешней среды. Поступление питательных веществ в растение заметно снижается при плохой аэрации почвы, низкой температуре, избытке или резком недостатке влаги в почве. Особенно сильное влияние на поступление питательных веществ оказывают реакция почвенного раствора, концентрация и соотношение солей в нем. При избыточной концентрации солей в почвенном растворе (напр., в засоленных почвах) поглощение растениями воды и питательных веществ резко замедляется.

Корни растений имеют очень высокую усвояющую способность и могут поглощать питательные вещества из сильно разбавленных растворов.

Важное значение для нормального развития корней имеет также соотношение солей в растворе, его *физиологическая уравновешенность*. Физиологически уравновешенным называется раствор, в котором отдельные питательные вещества находятся в таких соотношениях, при которых происходит наиболее эффективное использование их растением. Раствор, представленный какой-либо одной солью, *физиологически неуравновешен*.

Одностороннее преобладание (высокая концентрация) в растворе одной соли, особенно избыток какого-либо одновалентного катиона, оказывает вредное действие на растение. Развитие корней происходит лучше в многосолевом растворе. В нем проявляется антагонизм ионов, каждый ион взаимно препятствует избыточному поступлению другого иона в клетки корня. Например, Ca^{2+} в высоких концентрациях тормозит избыточное поступление K^+ , Na^+ или Mg^{2+} и наоборот. Такие же антагонистические отношения существуют и для ионов K^+ и Na^+ , K^+ и NH_4^+ , K^+ и Mg^{2+} , NO_3^- и H_2PO_4^- , Cl^- и H_2PO_4^- и др.

Физиологическая уравновешенность легче всего восстанавливается при введении в раствор солей кальция. При наличии кальция в растворе создаются нормальные условия для развития корневой системы, поэтому в искусственных питательных смесях Ca^{2+} должен преобладать над другими ионами.

Особенно сильно ухудшается развитие корней и поступление в них питательных веществ при высокой концентрации ионов водорода, т.е. при повышенной кислотности раствора. Высокая концентрация в растворе ионов водорода оказывает отрицательное влияние на физико-химическое состояние цитоплазмы клеток корня. Отрицательное действие кислой реакции сильнее проявляется при отсутствии или недостатке других катионов, особенно кальция, в растворе. Кальций тормозит поступление ионов H^+ , поэтому при повышенном количестве кальция растения способны переносить более кислую реакцию, чем без кальция.

Реакция раствора оказывает влияние на интенсивность поступления отдельных ионов в

растение и обмен веществ. При кислой реакции повышается поступление анионов (вместе с ионами H^+), но затрудняется поступление катионов, нарушается питание растений кальцием и магнием и тормозится синтез белка, подавляется образование сахаров в растении. При щелочной реакции усиливается поступление катионов и затрудняется поступление анионов.

Питательные вещества наиболее активно усваиваются растениями из той части почвы, которая находится в непосредственном контакте с корнями. Поэтому все мероприятия, способствующие лучшему развитию корней (хорошая обработка почвы, известкование кислых почв и т.д.), обеспечивают и лучшее использование растениями питательных веществ из почвы.

Питание растений осуществляется при тесном взаимодействии с окружающей средой, в том числе с огромным количеством разнообразных микроорганизмов, населяющих почву. Количество микроорганизмов особенно велико в ризосфере, т.е. в той части почвы, которая непосредственно соприкасается с поверхностью корней. Используя в качестве источника пищи и энергетического материала корневые выделения, микроорганизмы активно развиваются на корнях и вблизи них и способствуют мобилизации питательных веществ почвы.

Ризосферные и почвенные микроорганизмы играют важную роль в превращении питательных веществ и вносимых в почву удобрений. Микроорганизмы разлагают находящиеся в почве органические вещества и вносимые органические удобрения, в результате чего содержащиеся в них элементы питания переходят в усвояемую для растений минеральную форму. Некоторые микроорганизмы способны разлагать труднорастворимые минеральные соединения фосфора и калия и переводить их в доступную для растений форму. Ряд бактерий, усваивая молекулярный азот воздуха, обогащает почву азотом. С жизнедеятельностью микроорганизмов связано также образование в почве гумуса.

При определенных условиях в результате деятельности микроорганизмов питание и рост растений могут ухудшаться. Микроорганизмы, как и растения, потребляют для питания и построения своих тел азот и зольные элементы, т.е. являются конкурентами растений в использовании минеральных веществ. Не все микроорганизмы полезны для растений. Некоторые из них выделяют ядовитые для растений вещества или являются возбудителями различных заболеваний.

В связи с этим одна из важных задач земледелия — создание соответствующими приемами агротехники благоприятных условий для развития полезных микроорганизмов и ухудшение условий для развития вредных.

Повышение продуктивности агрофитоценозов и улучшение качества растительной продукции неразрывно связаны с обеспечением оптимального уровня минерального питания растений на всех этапах органогенеза. Одним из основных направлений решения данной проблемы является изучение взаимного влияния факторов внешней среды, количественного соотношения и качественного состава элементов питания на их поступление в растения и использование на создание урожая. В свою очередь элементный состав растений в различные фазы их развития определяет ход всех процессов жизнедеятельности, динамику накопления биомассы и особенности формирования урожая. Важным для определения доз и сроков внесения удобрений является контроль за содержанием в почве питательных веществ и динамикой их усвоения растениями по периодам вегетации с учетом уровня урожая. Отсюда очевидна необходимость правильного использования удобрений, систематического применения почвенной и растительной диагностики. При решении этих проблем достоверную информацию получают в результате многолетних стационарных полевых опытов с длительным внесением удобрений в типичных севооборотах, проведение которых основано на комплексном подходе к изучению закономерностей взаимодействия удобрений с почвой и растениями в зональном аспекте.

Внедрение в производство научных разработок уже в настоящее время обеспечивает более высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур, повышение плодородия почв и охрану окружающей среды.

Для оптимального развития полевых культур чрезвычайно важно, чтобы в почве в достаточном количестве и непрерывно имелись вода и все необходимые минеральные питательные вещества и не было бы препятствий к их поступлению в корневую систему. При этом не менее важно оптимальное сочетание света, тепла и воздуха. Все они, как гласит важнейший закон земледелия, сформулированный В. Р. Вильямсом, в жизни растений равны и не могут быть заменены друг другом. Однако в настоящее время известно, что незаменимыми в жизненном цикле растений и формировании урожая оказываются и большинство составляющих элементов космических факторов: это отдельные спектры солнечного луча, температура на определенных фазах онтогенеза, разнообразные биологически важные элементы питания и т. д. Удовлетворение потребностей растений в них в течение всего жизненного цикла — обязательное требование закона незаменимости и равнозначности факторов роста и развития растений.

Данные науки и передовой опыт показывают, что в условиях интенсивного земледелия уровень урожая любой культуры прежде всего зависит от того фактора или элемента, который находится в относительном недостатке. Например, если наличие минерального азота в почве обеспечивает урожай сахарной свеклы в 25 т/га, а фосфора и калия вполне достаточно для формирования 35 т корнеплодов и более, то предельный урожай составит 25 т из-за минимума азота.

В том случае, если в почве достаточно питательных веществ, но мало воды, урожай лимитируется влагой.

Земледелие нашего региона характеризуется неустойчивым увлажнением. Осадков зачастую выпадает недостаточно, к тому же они распределяются в период активной вегетации фитоценозов неравномерно, в итоге их жизненные процессы, как бы ни были благоприятны остальные условия, заметно подавляются. В этих условиях важно применение таких технологических приемов, которые устраняют или уменьшают отрицательное влияние того или иного минимума. Известно, что в условиях неорошаемого земледелия накоплению и сбережению влаги способствуют хорошая агротехника и строгая технологическая дисциплина. Велика роль в этом аспекте и удобрений. Как правило, они обеспечивают более экономное использование воды растениями и этим уменьшают отрицательное влияние недостатка влаги.

Хотя на удобренных фонах растения и пользуются более экономно влагой, недостаток ее, как и других факторов, приводит к существенному снижению продуктивности сельскохозяйственных культур. Следовательно, каждый фактор имеет свой оптимум, отклонения от которого вызывают ослабление жизнедеятельности растений, вплоть до полного прекращения при минимальных величинах и за пределами некоторого губительного максимума. Но ограничивающее действие факторов, находящихся в относительном недостатке или избытке, неодинаково в зависимости от других факторов.

Оптимальные величины одного фактора, как правило, зависят от величины другого, при изменении последнего оптимальные значения первого тоже меняются. Следовательно, оптимальные условия среды формируются на гармонической и до некоторой степени взаимокомпенсирующей системе сочетания основных факторов. Такая система подвижна, но ограничена определенными критическими пределами.

При воздействии только на один фактор жизни, находящийся в минимуме, например азот, урожайность сначала интенсивно растет, затем при достижении определенного уровня кривая урожайности после каждого последующего увеличения дозы азота приобретает характер затухания. Так, на обыкновенном черноземе в годы, когда запас продуктивной влаги в слое

100 см не превышал 140 мм, максимальный урожай (5,83 т/га) озимой пшеницы сорта Эритроспермум 127 обеспечивало внесение 90 кг/га д.в. азота. Если при возобновлении вегетации растений весной запасы продуктивной влаги составляли 170—180 мм, а в весенне-летний период выпадало 180—220 мм осадков, урожай этого же сорта достигал максимума — 7,26 т/га при 120 кг/га д.в. азота на фоне фосфора и калия ($P_{60}K_{60}$). Как в первом, так и во втором случае последующее увеличение дозы азота не обеспечивало достоверного прироста урожая. Это еще раз показывает, что только одновременное увеличение до определенных пределов всех факторов (влаги, питательных веществ) в правильной их пропорции сопровождается устойчивым повышением урожайности. В этом и отражается сущность закона совокупного действия, устанавливающего, что для получения максимальных урожаев необходимо одновременное наличие всех факторов жизни растений в оптимальном соотношении, то есть действие закона оптимума.

Создание ценозам наилучших условий для роста и развития — главная задача земледелия. Применительно к удобрениям, это их виды, дозы, соотношения и приемы внесения. В нашей области было немало специалистов, которые, создавая оптимальные условия для роста и развития растений, добивались получения высоких и устойчивых урожаев.

Опыт передовых хозяйств доказывает, что знание и практическое применение объективных законов земледелия — залог получения максимальных урожаев. Как недостаток, так и избыток какого-либо фактора отрицательно сказывается на продукционных процессах. Поэтому в технологическом аспекте, в частности при разработке системы удобрения, очень важно учитывать специфику действия элементов питания, генетические свойства растений и почвы, а также климатические условия.

К сожалению, на практике еще случается, когда на поле, где в минимуме находится фосфор или калий, вносят азот, и наоборот. Естественно, что такое применение удобрений не может обеспечить ожидаемой эффективности. В то же время создаются предпосылки для загрязнения окружающей среды.

В условиях интенсивного земледелия существенно возрастает значимость закона возврата веществ в почву. Он был открыт в середине XIX столетия Ю. Либихом. Сущность его сводится к тому, что вещества, используемые растениями при создании урожая, должны полностью возвращаться в почву с удобрениями. Нарушение этого закона, по утверждению Ю. Либиха, рано или поздно должно привести к утрате почвой плодородия. В принципе постановка вопроса о необходимости возврата биологически важных элементов, а не всех вынесенных из почвы урожаем, правильна и прогрессивна. К. А. Тимирязев и Д. И. Прянишников неоднократно отмечали, что учение о необходимости возврата представляет одно из величайших приобретений науки.

Важным показателем рационального ведения земледелия в соответствии с законом возврата является баланс таких дефицитных, биологически важных элементов в почве, как азот, фосфор и калий. «Медленный рост урожайности в предшествующие годы, — указывает академик В. Д. Панников, — во многом объясняется тем, что баланс питательных веществ в земледелии страны в течение длительного времени нарушался и складывался отрицательно, то есть со значительным дефицитом». Из почвы бралось и берётся больше, чем возвращается ей. Подобное всё усугубляющееся явление в балансе элементов пищи наблюдается и в земледелии нашей области.

Для обеспечения максимальных урожаев важно не только вернуть в почву питательные вещества, вынесенные с урожаем, но и с каждым годом увеличивать их содержание с целью повышения плодородия почвы, создания благоприятных условий для непрерывного роста урожайности и получения продукции с высоким биологическим качеством.

Опыт показывает, что можно вырастить высокий урожай, но с низким качеством

продукции, т. е. низким содержанием белка, незаменимых аминокислот, сахара, жира, с отсутствием необходимых витаминов и т. д.

Анализ урожая за последние годы показал, что содержание клейковины в зерне пшеницы снижается. Такое явление обусловлено не столько отрицательной коррелятивной зависимостью от уровня урожая (который существенно возрос за этот период), сколько несоблюдением требований технологии выращивания сильных пшениц и недостаточным количеством вносимых азотных удобрений.

Многочисленные опыты свидетельствуют о том, что в условиях области удобрения — это важное средство улучшения качества продукции. Мы же вносим только 7 кг/га д.в. удобрения.

На повышение качества сахарной свеклы существенно влияют микроэлементы. Так, в среднем за три года сахаристость корнеплодов сахарной свеклы на фоне основного удобрения (N120P120K120) составила 19,2%. При обработке семян 0,1% раствором марганца содержание сахара на фоне тех же доз основного удобрения возросло до 19,6%, а раствором сернокислого цинка — до 19,8%. Таким образом, в результате взаимодействия макро- и микроэлементов урожай не только увеличивается, но заметно улучшается его качество.

Как уже указывалось, отдельные факторы жизни растений наиболее эффективно проявляются во взаимодействии с другими факторами, при этом результаты динамично изменчивые, что позволяет управлять этим процессом и, таким образом, получать высокие урожаи даже в сложных погодно-климатических условиях. Так, при внедрении научно обоснованной системы удобрения культур в существенной мере можно снизить общий расход воды на формирование единицы урожая, что подтверждается уровнем урожая озимой пшеницы сорта Одесская 51 на удобренном и неудобренном фонах. В опытах НИИСХ Юго-Востока в среднем за годы исследований общий расход воды на образование 1 т зерна в варианте без удобрений составил 512 т при урожае 2,86 т/га, а при внесении N90P90K90 — 415 т, т. е. на 97 т меньше, при урожае 3,5 т/га. Аналогичная закономерность наблюдается и в водопотреблении сахарной свеклой. В среднем на 1 т выращенных корней растения потребляли на удобренном варианте 76 т воды, на неудобренном — 116, или на 40 т больше. За счет более продуктивного использования воды получено дополнительно 18 т корней сахарной свеклы.

Таким образом, система применения удобрений в экологическом аспекте рассматривается как комплекс агрохимических способов воздействия на минеральный, радиационный, тепловой и водный балансы с целью обеспечения максимального соответствия условий среды потребностям полевых культур. Способы воздействия могут быть прямыми и косвенными. Прямые — применение минеральных и органических удобрений, орошение, осушение, нормы высева и другие приемы, косвенные — приспособление сроков агрохимических приемов к ритмам и особенностям агрометеорологических условий. Гармоничное соотношение последних позитивно сказывается на эффективности химизации и продуктивности земледелия в целом.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте понятие об эффективности плодородия почвы.
2. Применение удобрений с учетом основных законов земледелия.
3. Минеральное и органическое вещество почвы как источники питания растений.
4. Состав органической и минеральной частей почвы и влияние их на плодородие.
5. Перечислите основные свойства почвы.
6. Влияние удобрений на основные свойства почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрохимия. Под ред. В.Г. Минеева – М.: 2004. – 639 с.
2. Агрохимия. Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
3. 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.

Дополнительная

1. Минеев В.Г. В защиту нитратов и фосфатов.
2. Агрохимия / Б.А. Ягодин и др : учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
3. Система удобрений: В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко: учебник / В.Н. Ефимов. - М.: КолосС, 2003.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ НЕПРАВИЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

3.1. Причины загрязнения окружающей среды удобрениями и возможные негативные последствия

Основные причины загрязнения природной среды удобрениями, пути их потерь и непроизводительного использования следующие:

- несовершенство технологии транспортировки, хранения, тукосмешения и внесения удобрений;
- нарушение агрономической технологии их применения в севообороте и под отдельные культуры;
- водная и ветровая (дефляция) эрозия почвы;
- несовершенство качества свойств минеральных удобрений;
- интенсивное использование различных промышленных, городских и бытовых отходов на удобрения без систематического и тщательного контроля их химического состава.

В несовершенстве технологии транспортировки и внесения удобрений необходимо выделить ряд моментов. Так, недостаток в транспортировке удобрений заключается в перевалочной системе от завода до поля и в дефиците специализированных автотранспортных средств. Значительная часть агрохимических средств перевозится автосамосвалами общего назначения, что приводит к существенным их потерям. Увеличение объема складских емкостей для хранения минеральных удобрений, а также совершенствование механизированной технологии работы на складах, т.е. погрузочно-разгрузочных работ и тукосмешения с заданным соотношением питательных элементов в тукосмеси, существенно снижают потери минеральных удобрений, повышают их эффективность, сохраняют природную среду от загрязнения. Существенным источником непроизводительного расходования минеральных удобрений, снижения их положительного действия являются неравномерное распределение по поверхности поля и их сегрегация (расслоение) при транспортировке и внесении. Например, потери урожая ячменя при внесении нитрофоски в дозах 60-80 кг/га NPK с неравномерностью 60-80% достигают 5 ц/га, картофеля - 15, сахарной свеклы - 20 ц/га. Недобор урожая от неравномерности внесения удобрений возрастает при использовании высококонцентрированных удобрений, повышении доз, высокой отзывчивости культуры на удобрения. Поэтому по агрохимическим требованиям к машинам по внесению минеральных удобрений в нашей стране показатель неравномерности разбросного внесения удобрений не должен превышать 15%. В Чехии в опытах с озимой пшеницей при неравномерности внесения минеральных удобрений под эту культуру в 40-70% урожай зерна в зависимости от зоны возделывания снижается от 3-5 (5-8%) до 10-11 ц/га (15-16%). В Германии выделены группы культур по степени чувствительности к неравномерному внесению удобрений. К первой группе отнесены картофель и озимый ячмень - снижение урожая достигает 8-10 зерн. ед. с 1 га, ко второй - озимая пшеница и рожь, кукуруза на силос. Потери урожайности этих культур составили 4,5 ц/га зерн. ед. Сеяные злаковые травы и свекла снижали урожай лишь на 2,5 ц/га зерн. ед. Негативное действие неравномерности посева в большей степени проявлялось на подзолистых почвах по сравнению с черноземами. В России проводится большая работа по совершенствованию техники внесения удобрений, повышению качества работ, снижению непроизводительных потерь удобрений, химических мелиорантов и других агрохимических

средств, совершенствуются технологии работы с удобрениями. К таким технологиям следует отнести, прежде всего, технологию централизованного приготовления и внесения тукосмесей, контейнерную технологию, перегрузочную технологию транспортировки и внесения удобрений с использованием высокопроизводительных автомобильных перегрузчиков грузоместностью 8 т, технологию дробного внесения удобрений (для интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур) и технологию внутрипочвенного внесения удобрений. Для осуществления этих прогрессивных технологий промышленность уже частично поставляет сельскохозяйственному производству необходимые средства механизации.

Для применения твердых минеральных удобрений используют тукосмесительные установки УТС-30, растариватели-измельчители слежавшихся удобрений АИР-20, машины по внесению удобрений для интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур РУМ-5-03 и СТТ-10 (обеспечивают дробное внесение удобрений с высоким качеством их распределения). Будут выпускаться также более совершенные технические средства - тукосмесительные установки УТМ-30, автомобильные машины для внесения удобрений МХА-7 и агрегаты ААП-5, оснащенные штанговыми рабочими органами. Для применения жидких минеральных удобрений (ЖКУ, аммиачной воды и жидкого аммиака) намечается серийный выпуск машин ПЖУ-2,5 и ПЖУ-5 (для поверхностного и внутрипочвенного внесения ЖКУ и аммиачной воды).

Для внесения жидкого аммиака необходимый комплекс машин выпускается уже сегодня: транспортировщики типа МЖА, машины для внесения аммиака типа АБА и АША и машины для его внесения на лугах и пастбищах типа УЛП. Для внесения пылевидных известковых удобрений вместо поставляемых сегодня сельскохозяйственному производству машин РУП-8 и АРУП-8, оснащенных устройствами для бокового рассева удобрений, будут поступать автомобильные транспортировщики большей грузоместностью МТП-10 и МТП-13 (на 8 и 13 т) и тракторные машины для внесения РУП-10 и РУП-14, оснащенные штанговыми рассеивающими устройствами, существенно снижающие пыление и, следовательно, потери удобрений и загрязнение окружающей среды.

Для внесения жидких и твердых органических удобрений будет продолжена поставка машин типа РОУ, ПРТ и РЖТ грузоместностью 5,16 т. Сейчас налаживается производство высокопроизводительного (200 т/ч) погрузчика ПНД-250. Поставка его решит проблему эффективной загрузки твердых органических удобрений в машины для их внесения. Нарушение научно обоснованной агрономической технологии применения удобрений также является существенным источником их потерь и загрязнения окружающей среды.

При рассмотрении влияния агрохимических средств на природную среду первостепенное значение имеет азот. Азотные удобрения решают проблему белка в сельском хозяйстве, а следовательно, и уровень продуктивности земледелия и животноводства. При нарушении же технологии их применения они могут оказать существенное негативное воздействие на биосферу - почву, воду, атмосферу, растения, а через них - на животных и человека. Потери азота из удобрений бывают довольно значительными. Он усваивается в полевых условиях примерно на 40%, в отдельных случаях - на 50-70, иммобилизуется в почве на 20- 30%. Большая его доля включается в состав трудногидролизующих гумусовых веществ. Потери азота за счет улетучивания различных газообразных соединений составляют в среднем 15-25% от внесенного, а потери от вымывания зависят от свойств почвы, климата, водного режима, формы и дозы удобрения, вида культуры и т.д. Например, в земледелии Европы 2/3 потерь азота приходится на зимний период и 1/3 - на летний.

Факторами, определяющими потери азота, являются дозы, формы, сроки и способы внесения азотных удобрений, правильное соотношение азота с другими питательными элементами; гранулометрический состав и другие свойства почвы, степень ее

эродированности; погоднo-климатические условия; особенности технологии применения удобрений в условиях орошения и на осушенных землях; вид культуры и специализация севооборота. Доля азота удобрений в общих потерях азота от вымывания составляет 10-15%, остальная часть - азот почвы. Поэтому необходим комплексный подход к разработке приемов и мер борьбы с потерями азота. В Нечерноземной зоне в среднем вымывается 10-15 кг/га нитратного азота, на супесчаных почвах - 20-25, а на суглинистых - до 10 кг/га. В годы с нормальным увлажнением эти показатели снижаются примерно вдвое. В целом же способность почвы удерживать питательные элементы определяется ее разновидностью (песок lt; суглинок lt; глина), но всегда она ограничена. Поэтому избыток элементов питания, внесенных в почву с удобрениями, является потенциальным источником их вымывания. На дерново-под-золистых легких почвах Украины при внесении за 6 лет 345 кг азота потери его на рыхло-песчаной почве составили 161, а на связно-песчаной - 83 кг/га. Аналогичные примеры имеются во многих странах мира.

Важнейшим агрономическим мероприятием, предотвращающим потери удобрений и биогенных элементов почвы в природную среду, является освоение научно обоснованных севооборотов. Зависимость между вымыванием питательных элементов и видом сельскохозяйственных культур можно представить следующим порядком: овощные gt; корнеплоды gt; зерновые gt; кормовые травы. Значительный ущерб окружающей среде наносит бессистемное использование бесподстилочного навоза, навозных стоков и других отходов животноводства в нарушение научно обоснованных рекомендаций. Наиболее существенными нарушениями технологии использования органических удобрений являются:

1. недостаточное использование подстилочных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что в 1,5-2 раза уменьшает выход высококачественных органических удобрений, приводит к ежегодным потерям миллионов тонн жидких органических фракций;
2. неравномерное внесение навоза и компостов из-за недостаточного количества навозоразбрасывателей и применения бульдозеров и других примитивных средств, значительно снижающих эффективность органических удобрений;
3. нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;
4. недостаток при животноводческих комплексах ирригационно-подготовленных площадей для использования животноводческих стоков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстилочного навоза на орошение, а также слабое развитие трубопроводного транспорта и полевых навозохранилищ, что значительно повышает эксплуатационные затраты по сравнению с использованием мобильных средств, возрастают и потери навоза;
5. недооценка использования бесподстилочного навоза в сочетании с измельченной и рассеянной по полю во время уборки зерновых соломой и сидерацией полей.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта использования органических удобрений позволяет заключить, что для предотвращения потерь биогенных элементов, особенно азота, необходимо руководствоваться следующими общими положениями:

1. на 1 га севооборотной площади должно вноситься ежегодно не более 200 кг азота;
2. в хозяйствах, имеющих животноводческие комплексы, в севооборотах необходимо вводить промежуточные культуры на корм скоту или в качестве зеленого удобрения (уплотненный посев сельскохозяйственных культур в севообороте практически предотвращает потери нитратов за счет вымывания, вследствие интенсивного их использования растениями);
3. осенью бесподстилочный навоз можно комбинировать с запахиваемой соломой или зеленым удобрением (в этом случае азот биологически иммобилизуется осенью и в весенне-летний период, что значительно сокращает потери).

Фосфор как биогенный элемент меньше теряется в окружающую среду вследствие малой его подвижности в почве и не представляет такой экологической опасности, как азот. Потери фосфатов чаще всего происходят в процессе эрозии почвы. В результате поверхностного смыва почвы с каждого гектара уносится до 10 кг фосфора. Потери же водорастворимых фосфатов с поверхностным стоком небольшие. При вымывании из почвы потери фосфора составляют не более 1 кг/га. Высокая фиксирующая способность глинистых и суглинистых почв препятствует его миграции по профилю почвы, тем более до грунтовых вод. Потери калия более значительны, чем фосфора. В Нечерноземной зоне России вымывание калия составляет 5-10 кг/га пашни и более в зависимости от вида культуры, гранулометрического состава почвы, количества атмосферных осадков и т.д. Интенсивное применение минеральных удобрений усиливает миграцию и потери кальция, магния, серы и других биогенных элементов.

Использование же современных методов оптимизации применения удобрений в севообороте с учетом правильного соотношения питательных элементов в зависимости от плодородия и свойств почвы в комплексе с другими приемами земледелия (специализированные севообороты, уплотненные посевы промежуточных культур, дифференцированные почвозащитные системы обработки почвы, химическая мелиорация почв, орошение и осушение и др.) - важнейшее условие повышения коэффициента использования питательных элементов удобрений, непроизводительных их потерь в окружающую среду.

Большой ущерб в условиях интенсивного земледелия наносит эрозия почвы. Она приобретает глобальный характер и требует коллективных усилий всех стран, как и при решении других проблем охраны окружающей среды. Только овраги ежедневно «съедают» 100-200 га земли, а площадь, выводимая из сельскохозяйственного использования, в 3-4 раза превышает площадь оврага. В результате эрозии почвы теряется 20% продукции растениеводства. Степень развития эрозии почвы и размер ущерба от нее зависят от многих факторов: рельефа местности, вида культуры, гранулометрического состава почвы, интенсивности орошения или выпадающих атмосферных осадков, уровня удобренности полей, системы обработки почвы и др. Потери массы почвы и органического вещества за счет водной эрозии в зависимости от степени эродированности почв могут достигать больших величин. Потери почвенной массы и органического вещества в результате развития водной эрозии

За счет водной эрозии пахотных почв потери органического вещества могут значительно превышать то количество, которое минерализуется при распашке и которое не может быть восстановлено запашкой растительных остатков и органических удобрений. Потери отдельных питательных элементов от эрозии почвы бывают разными в зависимости от характера использования сельскохозяйственных угодий, крутизны склона, интенсивности орошения и т.д. По обобщенным данным научных учреждений, недобор урожая на слабосмытых почвах составляет 10-12%, на среднесмытых - 30-50, а на сильносмытых - 60-80%. Среди комплекса важнейших противоэрозионных мероприятий мощным агротехническим средством повышения противоэрозионной устойчивости почв является применение органических и минеральных удобрений. Растения на удобренной почве развивают более мощную корневую систему, улучшают физические свойства почв, что способствует защите почв от эрозии (табл. 10.3). Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения и заделки удобрений является важным средством предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании из почвы. Анализ причин появления эрозии почвы показывает, что это не неизбежное явление, а вызывается оно в значительной мере нарушением научных принципов и законов земледелия, научно обоснованного комплекса приемов агрономической технологии.

Анализ отечественных и зарубежных исследований и практической деятельности передовых хозяйств позволяет рекомендовать следующий комплекс основных агрономических мероприятий по предотвращению эрозии почвы и потерь питательных веществ. Изменение эрозионных потерь почвенной массы и питательных веществ под влиянием минеральных удобрений, кг/га (озимая пшеница на дерново-подзолистой почве) (Фокин, 1986) Разработка и освоение научно обоснованных специализированных с учетом степени эрозионной опасности почвозащитных севооборотов.

1. Система противозрозионной обработки почвы: безотвальная, плоскорезная, минимальная, полосная, контурная, гребнистая, ячеистая, чизелевание, щелевание почвы и т.д.

2. Внедрение контурного, террасного, полосного земледелия и комплекса противозрозионных мелиоративных мероприятий.

3. Использование пожнивных посевов, а также уплотненный посев почвозащитной культуры в междурядье основной (пропашной). Этот прием особенно эффективен на легких почвах.

4. Залужение посевами многолетних трав участков, сильно подверженных эрозии.

5. Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения минеральных и органических удобрений - важное средство предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании почвы.

6. Применение полимеров-структурообразователей.

Значительное количество биогенных элементов теряется в окружающую среду вследствие несовершенства свойств и химического состава удобрений и различных удобрительных средств. Например, потери азота мочевины, аммиачных форм удобрений в виде газообразного аммиака происходят под влиянием химических и микробиологических процессов, особенно при поверхностном их внесении. Эти потери возрастают на легких по гранулометрическому составу и высококарбонатных почвах. Заделка мочевины в почву значительно снижает потери азота. При благоприятных условиях на богатых гумусом почвах процесс превращения мочевины в углекислый аммоний происходит в течение 2-3 дней. На нейтральных и щелочных почвах без осадков потери азота в виде аммиака возрастают. Внесение же мочевины с заделкой ее в почву (под вспашку, предпосевную культивацию, в рядки при севе и т.д.) весьма эффективно.

Второй биологический путь потери азота из удобрений - процесс денитрификации в почве. Газообразные потери азота вследствие этого процесса достигают 15-25% и более от внесенной дозы этого элемента. Выделенные из почвы газообразные продукты азота представлены большей частью N_2 и N_2O . Наиболее существенный химический путь потерь азота из удобрений - выделение свободного аммиака (NH_3) вследствие взаимодействия аммиачных форм удобрений со щелочными, высококарбонатными почвами. Часто биологические и химические процессы в почве взаимосвязаны. Например, потери NH_3 из сернокислого аммония можно представить реакцией $(NH_4)_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + (NH_4)_2CO_3$. Карбонат аммония - соединение нестойкое и распадается, как и при разложении мочевины, с выделением NH_3 , который улетучивается.

Все формы азота в естественных условиях в течение определенного времени переходят в наиболее подвижную форму, которая в значительном количестве может теряться с инфильтрационными водами. В настоящее время для торможения процесса нитрификации широко испытываются в производстве различные ингибиторы, позволяющие повысить коэффициент использования азота удобрений и существенно снизить потери его в окружающую среду. Среди ингибиторов нитрификации наиболее распространены американские препараты: нитрапирин (N-Serve), Extend, а также японский AM, которые задерживают нитрификацию как аммонийных ионов почвы, так и внесенных удобрений.

Ингибиторы повышают коэффициент использования азота из удобрений на 10-15%, а в ряде случаев и более. Потери же азота из удобрений снижаются в 1,5-2 раза.

Существенным недостатком многих минеральных удобрений, особенно азотных, является их физиологическая кислотность, а также наличие остаточной кислоты вследствие технологии их производства. Интенсивное применение таких удобрений в севообороте приводит к заметному подкислению почв, созданию неблагоприятных условий для роста растений. В этом случае возрастает потребность в известковании почв и нейтрализации кислотности самих удобрений. Требуют улучшения и физические свойства минеральных удобрений, а также необходима разработка новых форм химических соединений в качестве удобрений. Эти исследования должны быть направлены на оптимизацию питания растений макро- и микроэлементами, сочетания питательных элементов со стимуляторами роста, ретардантами, ингибиторами нитрификации и т.д. В настоящее время распространен прием капсулирования удобрений, покрытия гранул различными пленками, элементарной серой. Важно получать удобрения с контролируемым освобождением питательных элементов, особенно азота, в процессе вегетации культур. Еще одним недостатком многих минеральных удобрений является наличие в них сопутствующих балластных элементов (фтора, хлора, натрия), а также токсических тяжелых металлов (кадмия, свинца и др.). Некоторые из этих элементов в небольших количествах могут оказывать положительное действие на рост и развитие растений. При систематическом же внесении повышенных доз удобрений балластные элементы могут накапливаться в почве в значительных количествах, отрицательно влияя на ее свойства и плодородие, на урожай и его качество, а мигрируя в грунтовые воды, повышать в них концентрацию солей. Пределы колебаний содержания токсических элементов в минеральных удобрениях могут быть довольно значительными (табл. 10.4). Например, в фосфоритной муке содержится 2-3% фтора и 1,2-1,7% стронция; в суперфосфате - соответственно 1,2-2,7 и 1%, а также ряд других элементов. Другие примеси в суперфосфатах представлены в табл. Содержание технических примесей в минеральных удобрениях и мелиорантах

Основные примеси в суперфосфатах (Франсуа Рамад, 1981)

Примеси	Содержание, мг/кг	Примеси	Содержание, мг/кг
Мышьяк	1,2-2,2	Свинец	7-92
Кадмий	50-170	Никель	7-32
Хром	66-243	Селен	0-4,5
Кобальт	0-9	Ванадий	20-180
Медь	4-79	Цинк	50-1430

Токсические элементы попадают в минеральные удобрения главным образом с сырьем для их производства, частично загрязняют их в технологическом процессе. Например, 50-80% фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях, поэтому с 1 т необходимого растениям фосфора на поля поступает около 160 кг фтора. А это приводит к ухудшению свойств и плодородия почвы, к ингибированию в ней биологических процессов, нарушению биохимических процессов в растениях. Фтор отрицательно влияет на фотосинтез и биосинтез белка, нарушает деятельность таких ферментов, как энолаза, фосфоглукумутаза,

фосфатаза. Он может накапливаться в продуктах питания, в пшенице, картофеле, рисе, отрицательно влияя на здоровье животных и человека. В какой степени опасно загрязнение почв тяжелыми металлами в результате применения минеральных удобрений? При современном уровне химизации на 1 га попадает, например, несколько граммов кадмия и для допустимого обогащения им почвы (0,1 мг/кг) потребуется 100 лет. Однако нужно учесть, что интенсивное техногенное загрязнение почвы происходит комплексно не только минеральными удобрениями и не только кадмием, а и другими токсическими элементами. Например, навоз также является некоторым источником накопления кадмия в почве. Содержание кадмия в стойловом навозе в среднем 0,4 мг/кг, свинца - 6,6 мг/кг сухого вещества. При норме расхода до 5 т сухого вещества на 1 га с навозом ежегодно вносится 1-4 г Сс1/га, что менее 1% от содержания кадмия в верхнем слое почвы.

Потенциальным источником загрязнения почв сельхозугодий являются представляющие особую опасность применяемые на удобрение отходы промышленности, осадки сточных вод (ОСВ), фосфо- гипс, а также сапропель и др. Обычно их применяют в высоких дозах, так как они содержат низкий процент биогенных элементов. Систематическое их использование может привести к накоплению в почве тяжелых металлов, различных токсических соединений. Так, пиритные огарки содержат 40-63% железа, 1-2 -серы, 0,33-0,47 - меди, 0,42-1,35 - цинка, 0,32-0,58% - свинца и другие металлы. В свежих отвалах пиритных огарков содержится до 0,15% мышьяка. Под воздействием атмосферных осадков из них выщелачиваются многие токсические вещества, которые загрязняют почву и водоемы. Использование же высоких доз (5-6 ц/га) пиритных огарков в качестве, например, медного удобрения приводит к загрязнению почвы свинцом, мышьяком и другими металлами, а следовательно, и к повышению их содержания в сельскохозяйственной продукции. Средний химический состав фосфогипса из апатитового концентрата следующий (%): Са - 28,3; БОз - 55,5; Р2О5 - 1,5; 8г - 1,8-2. Норма фосфогипса в зависимости от условий и целей его использования составляет от 5 до 20 т/га, с ними в почву попадает от 100 до 400 кг/га 8г. Качество кормов в значительной мере определяется отношением в них Са (г) и 8г (мг). Оптимальная величина его 160. Уменьшение указанного соотношения до 80 и ниже делает корм неполноценным. Критическое содержание стронция может создаваться в почве при внесении 40 т/га этого отхода и более. Содержащийся в фосфогипсе фтор снижает плодородие почвы и вызывает деградацию, имеется определенная опасность загрязнения растений фторидами.

Значительное загрязнение почв токсическими элементами возможно при использовании на удобрение осадков сточных вод. Для сравнения приведен средний уровень мг/кг микроэлементов, экстрагируемых раствором уксусной кислоты, в осадках сточных вод и в незагрязненных пахотных землях юго-востока Шотландии (среднее из 37 образцов ОСВ) (табл. 10.6). По данным ученых Шотландии, удобрение осадком, содержащим 5 мг/кг доступного кадмия, даже в дозе 25 т/га может повысить уровень доступного кадмия в почве на 50%, а превышение 5 мг/кг доступного кадмия в почве опасно с точки зрения экологии.

10.6. Содержание микроэлементов в ОСВ и в незагрязненной почве в Шотландии

Объекты анализа	В	Cu	Ni	РЬ	Zn	Са
Осадки сточных вод	13,3	146	7'2	37,1	489	1,9
Почвы	0,6	4,0	1,1	1,2	3,4	0,13

В США при условии непрерывного использования сточных вод для орошения на почвах всех типов концентрация Сс1 не должна превышать 0,01 мг/л, Сг - 0,10, Си - 0,20, РЬ - 5,0, N1

- 0,2 и Zn - 2 мг/л. За последние годы довольно настоятельно ставится вопрос о широком использовании сапропеля в качестве органического удобрения. С ним возможно попадание в почву тяжелых металлов и токсических соединений. По данным Катре (1980, ФРГ), содержание кадмия в сапропеле из Мюнхена составляет 90-180 мг, а в сапропеле из Некара - 50-100 мг/кг сухой массы. При внесении последнего в почву содержание кадмия в растительной массе повышалось на 0,02- 1,1 мг/кг сухой массы, а в почве - на 6-73 мг/кг. Наша страна располагает большими запасами сапропеля, и прежде чем его использовать, необходимо тщательно изучить его химический состав, установить допустимое содержание тяжелых металлов и токсических соединений в сапропеле, используемом в качестве удобрения. Многочисленные пути возможного загрязнения природной среды агрохимическими средствами не остаются без последствий, а оказывают многостороннее негативное влияние практически на все звенья биосферы. Неблагоприятное воздействие удобрений, различных отходов, применяемых в качестве удобрений и химических мелиорантов, можно свести в основном к следующему.

1. Неправильное применение удобрений может ухудшить круговорот и баланс питательных веществ, агрохимические свойства и плодородие почвы.

2. Нарушение агрономической технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений могут снизить урожай сельскохозяйственных культур и качество продукции.

3. Попадание питательных элементов удобрений и почвы в грунтовые воды с поверхностным стоком может привести к усиленному развитию водорослей, образованию планктонов, т.е. к эвтрофированию природных вод с вытекающими отсюда негативными последствиями.

4. Попадание удобрений и их соединений в атмосферу отрицательно сказывается на деятельности сельскохозяйственных и других предприятий, здоровье животных и человека. Высказываются также опасения о возможном разрушении озонового экрана стратосферы вследствие проникновения в нее N₂O, образующейся при денитрификации азотных соединений почвы и удобрений.

5. Нарушение оптимизации питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям растений, а часто и способствует развитию фитопатогенных грибных болезней, ухудшает фитосанитарное состояние почв и посевов.

Влияние агрохимических средств на свойства и плодородие почвы. Почва - важное звено биосферы, и она, прежде всего, подвергается сложному комплексному воздействию удобрений и других агрохимических средств, которые могут оказывать на нее следующее влияние: подкислять или подщелачивать среду; улучшать или ухудшать свойства почвы, ее биологическую и ферментативную активность; способствовать вытеснению ионов в почвенный раствор вследствие физико-химического их поглощения; способствовать или препятствовать химическому поглощению биогенных и токсических элементов; усиливать минерализацию гумуса или способствовать его синтезу; ослаблять или активизировать биологическую фиксацию N из атмосферы; усиливать или ослаблять действие других питательных элементов почвы или удобрений; мобилизовывать или иммобилизовывать макро- и микроэлементы почвы; вызывать антагонизм или синергизм питательных элементов и, следовательно, существенно влиять на их поглощение и метаболизм в растениях. Многостороннее воздействие на почву агрохимических средств можно показать на следующих примерах. Систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах повышает их кислотность, ускоряет вымывание из пахотного слоя кальция и магния, увеличивает ненасыщенность почв основаниями, в целом снижает плодородие почвы. В этом случае применение минеральных удобрений необходимо сочетать с известкованием как приемом химической мелиорации почвы. В

комплексе создаются оптимальные условия питания растений и улучшения свойств почвы. Известкование не только снижает кислотность почвы и улучшает ее свойства, но и усиливает биологическую активность, мобилизует фосфор, молибден, но иммобилизует железо, цинк, никель, медь, кобальт, марганец и другие элементы, ослабляет токсичность таких элементов, как кадмий, свинец, стронций, ртуть и другие, снижая их доступность растениям. Применение удобрений может не только мобилизовывать отдельные питательные элементы почвы, но и иммобилизовывать, т.е. связывать их, превращая в недоступную для растений форму. Например, одностороннее использование высоких доз фосфорных удобрений, особенно на карбонатных черноземах, часто значительно снижает содержание подвижного цинка в почве, вызывая цинковое голодание растений, что отрицательно сказывается на количестве и качестве урожая. Поэтому применение высоких доз фосфорных удобрений нередко вызывает необходимость внесения цинкового удобрения. Положительное взаимодействие этих элементов подтверждается опытными данными (табл. 10.7). Взаимодействие фосфорного и цинкового удобрений

Доза P ₂ O ₅ , кг/га	Доза Zn, кг/ га	Урожай зерна кукурузы, ц/га
0	0	81,2
90	0	73,9
0	24	67,6
90	24	108,5

Оптимизация применения удобрений под различные сельскохозяйственные культуры с учетом плодородия почвы существенно снижает поступление токсических элементов в растение. Чем лучше обеспеченность растений элементами питания и чем ближе их соотношения к оптимуму, тем меньше поступает, например, радионуклидов в растения, что подтверждается данными по ⁶⁵Zn, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs. Вопросы влияния сбалансированного питания растений макро- и микроэлементами на поглощение ими тяжелых металлов и других токсических элементов имеют важное теоретическое и практическое значение, прежде всего для земледелия в районах с интенсивно развивающейся промышленностью, где возрастает техногенное загрязнение почв различными токсическими элементами и соединениями. На основе экспериментальных данных научно обоснована система агромероприятий, реализация которых существенно снижает поступления радионуклидов (стронция, цезия и др.) в продукцию растениеводства. Эти мероприятия включают:

1. разбавление поступающих в почву радионуклидов в виде практически невесомых примесей их химическими аналогами (кальцием, калием и др.);
2. уменьшение степени доступности радионуклидов в почве путем внесения веществ, переводящих их в менее доступные формы (органическое вещество, фосфаты, карбонаты и др.);
3. заделку загрязненного слоя почвы в подпахотный горизонт за пределы зоны распространения корневых систем (на глубину 50- 70 см);
4. подбор культур и сортов, накапливающих минимальное количество радионуклидов;
5. размещение на загрязненных почвах технических культур, использование этих почв под семенные участки.

Аналогичные системы мероприятий могут быть использованы и для снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции другими токсическими веществами

нерадиоактивной природы. Техногенное загрязнение почвы различными элементами может оказать существенное влияние на ее химический состав; агрохимические, физико-химические и биохимические свойства; состав и активность почвенной биоты. В исследованиях на дерново-подзолистых и черноземных почвах установлено, что загрязнение медью, хромом, цинком, никелем, свинцом на уровне одного-двух кларков (в сравнении с незагрязненной почвой) сопровождалось существенным изменением биоты: уменьшением общего количества бактерий, спорообразованием их, резким сокращением числа актиномицетов и увеличением количества грибов, падением численности в почве насекомых (жуужелиц, чернотелок и др.) и дождевых червей. Отмечено снижение ферментативной активности в почве. Мутагенная активность загрязненной почвы, регистрируемая в меристематических клетках корней растений, в 5-10 раз выше, чем в незагрязненной почве. Изменения гумусного состояния почвы и ППК (хранителя почвенного плодородия и потенциала самоочищающей ее способности) являются важными показателями неблагоприятного воздействия загрязнителей на почву. Поэтому должны нормироваться реакция среды, замещение в ППК кальция и магния тяжелыми металлами, минерализация гумуса, изменение физического состояния почвы, химического и санитарного состояния почвенного раствора и почвенного воздуха. Получение высококачественной продукции растениеводства - центральная проблема человечества в условиях нынешнего и будущего земледелия с возрастающими темпами химизации. Если применением удобрений и других агрохимических средств создаются оптимальные условия питания сельскохозяйственных культур, то имеются все предпосылки для получения высококачественной продукции. Например, оптимизация азотного питания озимой пшеницы позволяет практически во всех земледельческих зонах получать высокобелковое зерно, отвечающее требованиям по питательности и хлебопекарным свойствам. Правильное соотношение между макро- и микроэлементами в удобрениях, вносимых под сахарную свеклу, - реальный и эффективный путь увеличения сбора сахара за счет повышения сахаристости корнеплодов. То же можно сказать и о качестве клубней картофеля, повышении содержания жиров в семенах масличных культур, сахаров и витаминов в плодах и овощах и т.д. Однако на качество растениеводческой продукции могут оказывать существенное влияние техногенное загрязнение природной среды токсическими веществами и нарушение научных принципов применения удобрений. Основными путями техногенного загрязнения окружающей среды являются: токсические соединения и элементы, выделяемые промышленностью и транспортом; попадание их в почву с удобрениями, в которых они находятся в качестве примесей; бессистемное и бесконтрольное использование различных отходов на удобрение. К загрязнителям окружающей среды часто относят фтор, ванадий, хром, марганец, кобальт, никель, цинк, мышьяк, молибден, ртуть, свинец и др. Многие из перечисленных элементов в небольших количествах положительно влияют на формирование количества и качества урожая сельскохозяйственных культур. Особое место среди загрязнителей занимают тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть). Они хорошо адсорбируются пахотным слоем почвы, особенно при высокой гумусированности и тяжелом гранулометрическом составе. Проявление токсического влияния тяжелых металлов на растение возможно разными путями. Это их денатурирующее действие на метаболически важные белки. Так как каталитическая и регуляторная роль белков для метаболической системы организмов является всеобъемлющей, нарушения могут захватывать самые различные звенья обмена. Возможен перевод фосфора в недоступную для метаболизма форму труднорастворимых фосфатов тяжелых металлов, а также конкуренция тяжелых металлов с необходимым элементом минерального питания, замена на специфических переносчиках и передатчиках этого элемента в метаболической цепи, что может привести к его дефициту. На почвах, загрязненных тяжелыми металлами, наблюдалось снижение

урожайности зерновых культур на 20- 30%, сахарной свеклы - на 35, бобовых - на 40, картофеля - на 47%.

Проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами вследствие интенсивного развития соответствующих отраслей промышленности обостряется еще и в связи с тем, что почва не единственное звено биосферы, откуда растения черпают питательные и токсические элементы. Они могут поступать в растения непосредственно из атмосферы некорневым путем, т.е. через листья. Основные факторы, снижающие поступление тяжелых металлов из почвы в растения, следующие. Известкование кислых почв. С понижением pH возрастают подвижность тяжелых металлов и их ингибирующая роль на рост растений. Известь увеличивает прочность связи их в почвах за счет образования труднорастворимых соединений. Внесение органических удобрений в целях повышения содержания гумуса в почве. Органическое вещество обладает высокой способностью удерживать тяжелые металлы. Поэтому концентрация их в растениях выше на почвах с низким содержанием органического вещества. Кроме этого, органические коллоиды почвы могут образовывать с тяжелыми металлами стабильные комплексы типа хелатов.

Внесение фосфорных удобрений, снижающих поступление тяжелых металлов в растения. Эффективно совместное применение фосфорных удобрений и извести, особенно на кислых почвах.

Оптимизация минерального питания растений способствует снижению уровня тяжелых металлов в культурах. В перспективе, по-видимому, определенный интерес будет представлять более широкое применение клиноптиломит содержащих туфов в качестве фильтров для предотвращения накопления тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах. Основными причинами отрицательного влияния удобрений на качество урожая являются нарушение оптимальных доз, соотношения питательных элементов в удобрениях без учета их содержания в почве, форм и сроков их внесения, что отрицательно влияет на метаболизм органических соединений, особенно на синтез аминокислот и белков в растениях. Одновременно в растениях накапливаются в избыточном количестве нитраты, нитриты, которые в кислой среде реагируют с вторичными аминами, образуя нитрозамины, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами. В здоровых растениях при нормальном азотном питании нитраты и нитриты в свободном состоянии не накапливаются. Поступив в растения, они подвергаются процессам восстановления под действием нитратредуктазы и нитритредуктазы. Полученное промежуточное соединение - гидроксилламин или аммиак - связывается с органическими кислотами, которые превращаются в аминокислоты. Следовательно, нитраты могут накапливаться при избыточном их количестве в почве и при нарушенных биологических процессах в растении. Удобрение навозом или компостами как медленнодействующей формой азота приводит к меньшему содержанию нитратов в овощах по сравнению с эквивалентным количеством азота, внесенного с минеральными удобрениями. Оптимизация азотного питания растений предусматривает и сроки внесения азотных удобрений в соответствии с биологическими требованиями растений. Это особенно важно учитывать при удобрении овощных культур и тех растений, у которых на питание используются вегетативные части. В процессе вегетации содержание нитратов в растениях снижается, поэтому убирать культуры, особенно овощные, необходимо в оптимальные сроки, а подкармливать азотом за 1,5-2 месяца до уборки урожая, чтобы растения смогли переработать поступившую нитратную форму азота. Успешное использование растениями всех питательных элементов, поступивших через корневую систему, в том числе и утилизация нитратов, возможно при высокой фотосинтетической деятельности растений. Интенсивность света обуславливает активность фермента нитратредуктазы, обеспечивающего восстановление в растениях нитратов до аммония. При низкой освещенности процессы восстановления нитратов и образования аминокислот

затормаживаются. Этим можно объяснить значительно большее содержание нитратов в овощах, выращенных в теплицах в зимнее время, чем в растениях открытого грунта. Нарушение научно обоснованной технологии использования в земледелии различных видов органических удобрений также снижает качество продукции. Среднегодовая доза ежегодно вносимого навоза (без опасения ухудшения качества урожая и поедаемости корма) рекомендуется эквивалентной не более 200 кг азота на 1 га, а наиболее эффективный срок внесения навоза - осень, под зяблевую вспашку. Поскольку навоз влияет на ряд культур севооборота, то важно знать действие систематического использования высоких доз бесподстилочного навоза, а в сочетании его с соломой и минеральными удобрениями - действие на плодородие и свойства почвы, накопление в ней тяжелых металлов, образование гумуса и процессы его минерализации, на миграцию элементов питания растений по профилю почвы, загрязнение грунтовых вод нитратами и солями тяжелых металлов и другие вопросы, а также учитывать связь перечисленных показателей с комплексным воздействием на качество урожая всех культур севооборота.

Внесение агрохимических средств может вызвать в почве мобилизацию или иммобилизацию биогенных и токсических элементов и изменение качества урожая. В этом случае большая роль отводится гумусу почвы, который связывает тяжелые металлы в комплексные соединения хелатного типа, т.е. малодоступные для растений формы, снижая их токсичность. Этим можно объяснить частое отсутствие зависимости между содержанием тяжелых металлов и выносом их растениями на высоко гумусированных почвах. Известкование кислых почв также является эффективным приемом по уменьшению токсичности тяжелых металлов, снижающим их растворимость.

Влияние агрохимических средств на эвтрофирование и качество природных вод. Антропогенное эвтрофирование - это увеличение поступления в воду питательных для растений веществ вследствие деятельности человека в бассейнах водных объектов и вызванное этим повышение продуктивности водорослей и высших водных растений. Это важнейшая проблема современности. В водоемы поступают стоки, содержащие много соединений азота и фосфора. Это связано со смывом в водоемы удобрений с окрестных полей. В результате и происходит антропогенная эвтрификация таких водоемов, повышается их бесполезная продуктивность, происходит усиленное развитие фитопланктона, прибрежных зарослей, водорослей, «цветение воды» и др. В глубинной зоне усиливаются анаэробные процессы, накапливается сероводород, аммиак и т.д. Нарушаются окислительно-восстановительные процессы и возникает дефицит кислорода. Это приводит к гибели ценных рыб и растений, вода становится непригодной не только для питья, но даже для купания. Такой эвтрофированный водоем утрачивает свое хозяйственное и биогеоценотическое значение. Поэтому борьба за чистую воду - одна из важнейших задач всего комплекса проблемы по охране природы. Естественные эвтрофные системы хорошо сбалансированы. Искусственное же внесение биогенных элементов в результате антропогенной деятельности нарушает нормальное функционирование сообщества и создает в экосистеме губительную для организмов неустойчивость. Если в такие водоемы прекратится поступление посторонних веществ, они могут вернуться в свое первоначальное состояние. Оптимальный рост водных растительных организмов и водорослей наблюдается при концентрации фосфора 0,09-1,8 мг/л и нитратного азота 0,9-3,5 мг/л. Более низкие концентрации этих элементов ограничивают рост водорослей. На 1 кг поступившего в водоем фосфора образуется 100 кг фитопланктона. Цветение воды за счет водорослей возникает только в тех случаях, когда концентрация фосфора в воде превышает 0,01 мг/л. С точки зрения охраны здоровья людей очень важно, чтобы содержание нитратов и токсических веществ в воде не превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК). Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) установлена ПДК для нитратного азота в питьевой воде для умеренных широт 22 мг/л,

а для тропиков - 10 мг/л. Однако в районах интенсивного применения азотных удобрений довольно часто в питьевой воде концентрация нитратного азота больше ПДК. Биогенные элементы, и прежде всего азот и фосфор, попадают в реки и водоемы с промышленными и бытовыми сточными водами, со стоками с сельскохозяйственных угодий в результате биологической фиксации азота и т.д.

Опасность эвтрофикации природных водных источников создают также отходы животноводства, особенно на крупных животноводческих комплексах промышленного типа с бесподстилочным содержанием скота. Несовершенство технологии накопления, хранения и использования бесподстилочного навоза на таких комплексах приводит часто к скоплению на фермах огромных масс жидких навозных стоков. Часть из них попадает в реки и овраги, принося большой ущерб природной среде, другая часть мигрирует по профилю почвы, достигая и загрязняя грунтовые воды, делая их непригодными для хозяйственных целей. Использование бесподстилочного навоза в высоких дозах на ограниченной площади сельскохозяйственных угодий также может привести к загрязнению природных водных источников, к снижению плодородия и ухудшению свойств почвы, к получению растениеводческой продукции, не пригодной ни для пищевых целей, ни на корм скоту. Поэтому совершенствование технологии рационального использования отходов животноводства - важнейшее условие предотвращения загрязнения природной среды. Значительная часть биогенных элементов попадает в реки и озера со стоковыми водами, хотя и в большинстве случаев смыв элементов поверхностными водами значительно меньше, чем в результате миграции по профилю почвы, особенно в районах с промывным режимом. Загрязнение природных вод биогенными элементами за счет удобрений и почвы и их эвтрификация возникают, прежде всего, в тех случаях, когда нарушается агрономическая технология применения удобрений, не выполняется комплекс агротехнических мероприятий, в целом культура земледелия находится на низком уровне.

Проблема качества природных вод находится сейчас в центре внимания научных и научно-технических учреждений почти всех стран мира, так как ухудшение качества природных вод принимает угрожающие размеры. В табл. показаны допустимые пределы содержания токсических веществ в питьевой воде. Допустимые пределы содержания некоторых токсических веществ в питьевой воде, мг/л

Токсикант	Концентрация
Мышьяк (в пересчете на As)	0,05
Кадмий (в пересчете на Cd)	0,01
Цианиды (в пересчете на NaCN)	0,05
Свинец (в пересчете на Pb)	0,1
Ртуть (общая, в пересчете на Hg)	0,001
Селен (в пересчете на Se)	0,01
Нитраты (в пересчете на NO ₃)	45

Можно привести ряд требований по предотвращению загрязнения и эвтрификации природных вод.

1. Строгое выполнение научно обоснованной технологии применения удобрений с учетом оптимальных доз, соотношений, форм, сроков и способов их внесения в соответствии с биологическими требованиями растений, почвенно-климатическими особенностями зоны и уровнем планируемого урожая.

2. Выполнение агрономических правил и санитарно-гигиенических норм при накоплении, хранении и использовании различных видов органических удобрений, особенно навоза, полученного при бесподстилочном содержании скота, рациональное их сочетание с минеральными удобрениями.

3. Освоение научно обоснованных севооборотов, использование уплотненных посевов сельскохозяйственных растений, промежуточных культур, в том числе на корм скоту и на зеленое удобрение.

4. Выполнение комплекса мероприятий по предотвращению водной и ветровой эрозии почв: дифференцированная обработка почвы с учетом особенностей склона, запрещение вспашки вдоль склона, внедрение противоэрозионных севооборотов, залужение крутых склонов на кормовые угодья.

5. Посадка полезащитных, приовражных, прирусловых, а также на склонах лесных полос. Это эффективный путь предотвращения потерь биогенных элементов в реки, пруды и озера.

Для предотвращения процесса антропогенной эвтрификации и загрязнения вод токсическими элементами необходима очистка промышленных и бытовых стоков от излишков минеральных соединений азота и фосфора, тяжелых металлов и других веществ. Пути возможного загрязнения атмосферы при производстве и применении агрохимических средств. Основными источниками загрязнения атмосферы являются промышленность и транспорт. Хотя при применении удобрений загрязнение атмосферы незначительное, особенно при использовании гранулированных и жидких удобрений, тем не менее, оно имеет место. После применения удобрений в атмосфере обнаруживаются соединения, содержащие преимущественно азот, фосфор и серу. При производстве минеральных удобрений возможно существенное загрязнение атмосферы. Так, пылегазовые отходы калийного производства включают выбросы дымовых газов сушильных отделений, вредными компонентами которых являются пыль концентратов (КС1), хлористый водород, пары флотреагентов и антислеживателей аминов. При кислотных методах переработки хлористого калия на бесхлорные калийные удобрения, гидротермической переработке сульфатно-хлоридных калийных руд в качестве побочных продуктов образуются газы, содержащие хлористый водород, а при получении нитрата калия - C_{12} . Поэтому по экономическим и санитарным соображениям пылегазовые отходы калийного производства необходимо утилизировать и обезвреживать. ПДК паров аммиака в воздухе рабочей зоны не должны превышать 20 мг/м³, содержание пыли нитрофоски - 2-5, фосфоритной муки - 5 мг/м³. Пороговая концентрация пыли хлористого калия 10 мг/м³, токсическая - 50-150 мг/м³. Загрязнение атмосферы агрохимическими средствами возможно при нарушении условий выполнения технологий применения удобрений и химических мелиорантов, авиахимических работах, химической мелиорации почвы, технологий использования безводного аммиака и аммиачной воды и др. Предотвратить загрязнение воздуха в этом случае можно при высокой ответственности и профессиональном мастерстве работников сельского хозяйства, имеющих дело со средствами химизации.

Существенными источниками загрязнения природной среды являются также газообразные потери азотных соединений из удобрений и почвы, а также бессистемное использование органических удобрений, особенно бесподстилочного навоза и навозных стоков. Наиболее значительные потери азота могут быть вследствие биологических процессов в почве - аммонификации, нитрификации, денитрификации, а также химического взаимодействия азотных удобрений с карбонатными и щелочными почвами. Потери азота из удобрений в результате денитрификации составляют в среднем 15-30%. Интенсивность процесса денитрификации зависит от многих причин: свойства почвы, наличия энергетического материала, состава микрофлоры, питательного режима, гидротермических условий, вида применяемых азотных удобрений и др. Заделка удобрений в почву снижает потери азота.

Особенно существенное, в большинстве случаев местное влияние на атмосферу оказывают неправильное хранение и использование бесподстилочного навоза. При хранении

его в открытых емкостях выделяются и попадают в атмосферу аммиак, молекулярный азот и другие его соединения. Происходят также разложение органических удобрений и ухудшение окружающей среды вследствие образования газообразных продуктов распада, обуславливающих неприятный запах. Внесение бесподстильного навоза и животноводческих стоков от крупного рогатого скота и свиней вызывает интенсивное бактериальное заражение. Патогенные бактерии сохраняются в почве земледельческих полей орошения в течение 4-5 месяцев. При внесении стоков в почву методом дождевания по воздуху на расстояние до 400 м распространялись и яйца гельминтов.

Агрохимической наукой хорошо изучены условия возможных газообразных потерь азота из удобрений и почвы и их размеры. Это позволяет применять комплекс агрономических мероприятий при использовании научно обоснованных систем удобрения, способствующих предотвращению потерь азота в окружающую среду. Наиболее важными из них являются: определение оптимальных доз азотных удобрений под каждую культуру севооборота; правильные сроки их внесения; заделка удобрений в почву при вспашке, культивации или дисковании; выбор форм азотных удобрений с учетом их свойств, требований культуры, а также почвенно-климатических условий. В каждом хозяйстве должна строго соблюдаться правильная технология работы с пылящими удобрениями и химическими мелиорантами, безводным аммиаком, с бесподстильным навозом с учетом комплекса агрономических и санитарно-гигиенических требований. При работе с азотными удобрениями рекомендуется пользоваться ингибиторами нитрификации. Временное подавление размножения нитрифицирующих бактерий ингибиторами нитрификации способствует сохранению азота удобрений в аммиачной форме и снижению его потерь на 10-12% по сравнению с внесением азотных удобрений без ингибиторов. Весь перечисленный комплекс мероприятий в сочетании с максимальным уплотнением растительного покрова пашни во времени значительно снижает газообразные потери азота.

Агрохимические средства оказывают существенное влияние и на устойчивость растений к болезням и вредителям. Оно возможно в результате прямого или косвенного воздействия на культурное растение или патоген, стимулируя или ингибируя его развитие. Часто голодание растения от недостатка того или иного питательного элемента одновременно вызывает развитие патогена, например бактериоз у льна при дефиците бора. Основные макроэлементы по-разному действуют на развитие патогена. Избыточное одностороннее внесение азота или в составе с другими удобрениями часто увеличивает развитие многих грибных болезней. Оптимизация же доз азота с учетом вида, сорта и возраста растения, гидротермических условий, уровня содержания азота в почве, форм азотного удобрения, уровня окультуренности и других условий может существенно снизить или вовсе предотвратить ход патологического процесса. Фосфор в одностороннем порядке или в сочетании с азотом и калием в большинстве случаев снижает вредоносность заболевания. Это объясняется тем, что фосфор способствует усиленному развитию корневой системы, что повышает устойчивость растений к неблагоприятным условиям их роста. Кроме этого оптимальное фосфорное питание усиливает синтез органических соединений в растениях, в том числе и склеренхимных тканей, что повышает сопротивляемость растений к внедрению паразита. Калийные удобрения существенно сдерживают развитие грибных болезней на растениях, так как калий утолщает клеточные стенки, повышает прочность механических тканей, увеличивает рост и дифференциацию клеток камбия у высших растений. Все эти процессы способствуют повышению физиологической устойчивости растений против инфекционного поражения. Поэтому систему удобрения в севообороте необходимо строить и с учетом оптимального калийного питания растений.

Действие микроудобрений на развитие или торможение различных грибных заболеваний у растений изучено недостаточно. Однако известно, что микроэлементы

оказывают существенное влияние на физиолого-биохимические процессы у микроорганизмов, в том числе и грибов, действуют на ферментативную активность дегидрогеназы, каталазы, протеолитических и амилалитических ферментов. Для успешного развития многих грибов необходимо присутствие в питательной среде железа, цинка, марганца, меди, бора. В связи с тем, что на разных типах почв имеется соответствующий набор подвижных микроэлементов, создаются и предпосылки для развития определенных групп и видов микроорганизмов, которые не будут обнаруживаться в других биогеоценозах или агрофитоценозах из-за избытка или недостатка того или иного микроэлемента. Влияние удобрений на повреждение культурных растений вредителями менее изучено, однако установлена определенная связь между азотным удобрением и повреждением растений хлебным пилильщиком, вредной черепашкой, трипсом и другими вредителями. На фосфорно-калийном фоне повреждение растений вредителями бывает в меньшей степени. Все это требует комплексного многостороннего подхода к исследованиям влияния различных химических средств на звенья природной среды при использовании их в земледелии.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите причины загрязнения окружающей среды удобрениями.
2. Какие машины и агрегаты используются для внесения твердых и жидких удобрений?
3. Какой ущерб природной среде наносит бессистемное использование навоза?
4. Влияние азота на природную среду.
5. Причины потерь фосфатов из почвы.
6. Вред, наносимый окружающей среде эрозией почв.
7. Значение почвозащитных мероприятий в ослаблении действия эрозии.
8. Характеристика ингибиторов нитрификации.
9. Вред, наносимый окружающей среде отходами промышленности, ОСВ, сапропелем, фосфогипсом.
10. Охарактеризуйте воздействие на почву агрохимических средств.
11. Влияние агрохимических средств на эвтрофикацию и качество природных вод.
12. Влияние агрохимических средств на устойчивость растений к болезням и вредителям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агропочвоведение. Под ред. В.Д Мухи. – М.: КолосС, 2004. – 528 с.
2. Агрохимия. Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
3. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005 – 558 с.

Дополнительная

1. Агрохимия / Б.А.Ягодин и [др.]: учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
2. Агрохимия: учебник / ред.: Б. А. Ягодин. - М.: Колос, 1982. - 574 с.
3. Агрохимия и система удобрения: учебное пособие / Н.Х. Дудина. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 400 с.
4. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат. 1990.

ПОЧВЕННАЯ ДИАГНОСТИКА МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Изменчивость агрохимических, агрофизических и химических свойств разных почв под влиянием удобрений и мелиораций

Вопрос об использовании почвенных химических анализов с целью диагностики минерального питания растений изучался еще в 19 веке, но не утратил актуальности и в настоящее время. Имеется обширная литература, как отечественная, так и зарубежная, посвященная разработке методов определения потребности растений в удобрениях. Известные отечественные ученые (А.Т. Кирсанов, 1935; Ф.В. Чириков, 1956; Б.П. Мачигин, 1963) предложили химические методы и градации обеспеченности почв различных типов элементами питания. Многие из них приняты стандартными и широко используются в практике. Наличие большого количества методов обусловлено огромным разнообразием почв на территории нашей страны. В пахотном слое дерново-подзолистых и серых лесных почв содержание доступных растениям фосфора и калия определяют по методу Кирсанова. Растворителем при этом методе служит 0,2 н. раствор соляной кислоты. В черноземных некарбонатных почвах подвижные формы фосфора и калия извлекают 0,5 н. раствором уксусной кислоты (метод Чирикова), в карбонатных почвах — по методу Мачигина (извлекают 1 %-ным раствором углекислого аммония).

Определение нитратного азота чаще всего проводят по Грандваль-Ляжу.

Сущность метода почвенной диагностики заключается в использовании данных химического анализа почв для прогнозирования отзывчивости сельскохозяйственных культур на удобрения. Особое место в нем занимают методы определения подвижных форм элементов в почве.

В таблицах представлена группировка почв по содержанию подвижного фосфора и обменного калия, применительно к зерновым культурам. Для пропашных культур данные сдвигают на одну группу вниз, для овощных — на две. Например, среднее содержание фосфора для овощных культур по методу Чирикова составляет от 150 до 200 мг/кг почвы. Учитывая эту группировку и используя результаты анализа почвы, выполненного соответствующим методом, можно установить потребность растений в фосфорных и калийных удобрениях.

Тип почвы	Метод	Растворитель	Почва : раствор
Дерново-подзолистые, серые лесные	Кирсанова	0,2 н HCl	1: 5
Черноземы некарбонатные	Чирикова	0,5 н CH ₃ COOH	1: 25
Карбонатные черноземы, каштановые и бурые почвы, сероземы	Мачигина	1% (NH ₄) ₂ CO ₃	1:20

Группировки почв по содержанию подвижных форм питательных веществ для плодовых и ягодных культур, выращиваемых на серых лесных и дерново-подзолистых почвах, приводятся в учебном пособии И.П. Дерюгина и А.Н. Кулюкина, 1988.

Таблица – Группировка почв по содержанию подвижного фосфора, определяемого методами Кирсанова, Чирикова, Мачигина

№ группы	Содержание подвижного фосфора	По методу		
		Кирсанова	Чирикова	Мачигина
		Р ₂ O ₅ мг/кг почвы		
1	Очень низкое	Менее 25	Менее 20	Менее 10
2	Низкое	26-50	21-50	11-15
3	Среднее	51-100	51-100	16-30
4	Повышенное	101-150	101-150	31-45
5	Высокое	151-250	151-200	46-60
6	Очень высокое	более 250	более 200	более 60

Таблица - Группировка почв по содержанию обменного калия, определяемого методами Кирсанова, Чирикова, Мачигина

№ группы	Содержание подвижного фосфора	По методу		
		Кирсанова	Чирикова	Мачигина
		K ₂ O мг/кг почвы		
1	Очень низкое	Менее 40	Менее 20	Менее 100
2	Низкое	41-80	21-40	101-200
3	Среднее	81-120	41-80	201-300
4	Повышенное	121-170	81-120	301-400
5	Высокое	171-250	121-180	401-600
6	Очень высокое	более 250	более 180	более 600

Овощные и плодовые культуры в Омском Прииртышье выращивают в основном на черноземных и лугово-черноземных почвах. Эти почвы сравнительно обеспечены валовыми запасами элементов питания, которые, однако находятся в труднодоступной для растений форме. Из подвижных форм элементов питания в первом минимуме находится фосфор, во втором – азот. Доступным калием большинство почв обеспечено хорошо.

Агрохимическая служба (ФГУ ПИЦАС «Омский») рекомендует для овощных культур и картофеля, выращиваемых на черноземных почвах Омской области, группировку почв по содержанию элементов питания, приведенную в табл:

Таблица – Группировка почв по содержанию элементов питания *

№ группы	Обеспеченность, мг/кг			
	Обеспеченность	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Очень низкая	До 15	До 100	-
2	Низкая	15 – 20	100 – 180	До 180
3	Средняя	20 – 25	180-260	180-260
4	Высокая	Более 25	Более 260	Более 260

*нитратный азот по Грандваль-Ляжу; подвижный фосфор и обменный калий – по Чирикову.

Заведующим кафедрой агрохимии ОмГАУ Ю.И. Ермохиным разработаны уровни обеспеченности почв элементами питания для овощных культур и картофеля в условиях Западной Сибири. Все три питательных элемента ($N-NO_3$, P_2O_5 , K_2O) при этом извлекаются 2% уксусной кислотой (табл.).

Таблица - Градации обеспеченности элементами питания картофеля и овощных культур (открытый грунт)

Группа	Уровень обеспеченности	Содержание перед посевом, мг/100 г почвы (слой 0 – 30 см)		
		$N-NO_3$	P_2O_5	K_2O
1	Очень низкий Средняя прибавка урожая Отзывчивость на удобрения	$\frac{1,5}{2,0}$ До 37 высокая	$\frac{10}{2,3}$ До 60 высокая	- - -
2	Низкий Средняя прибавка урожая Отзывчивость на удобрения	$\frac{1,5 - 2,0}{2,0 - 2,6}$ 25 средняя	$\frac{10 - 18}{2,3 - 4,6}$ 38 средняя	$\frac{18}{5,7}$ До 36 средняя
3	Недостаточный Средняя прибавка урожая Отзывчивость на удобрения	$\frac{2,0 - 2,5}{2,6 - 3,2}$ 15 низкая	$\frac{18 - 26}{4,6 - 6,9}$ 17 низкая	$\frac{18 - 26}{5,7 - 8,4}$ 8 низкая
4	Оптимальный Средняя прибавка урожая Отзывчивость на удобрения	$\frac{2,6}{3,2}$ 0 отсутствует	$\frac{26}{6,9}$ и выше 4 практически отсутствует	$\frac{26}{8,4}$ и выше 0 отсутствует

Примечание: в числителе – стандартные методы; в знаменателе – 2% уксусная кислота.

Из данных таблицы следует, что чем выше содержание в почве питательных элементов, тем менее эффективны удобрения.

В разработке химического метода почвенной диагностики особо важен строгий учет биологических особенностей питания сельскохозяйственных культур в связи с фактически сложившимся питательным балансом почвы. Многолетние данные, полученные сотрудниками кафедры агрохимии ОмГАУ, свидетельствуют о зависимости величины урожая картофеля и овощных культур от химического состава почвы, причем в разные фазы развития растений они нуждаются в определенном химическом составе почвы; особенно это относится к азоту. Оптимальный рост растений обеспечивается только гармоничным сочетанием необходимых питательных веществ, поэтому дозы удобрений должны согласовываться с величиной доступных запасов ряда элементов питания в почве и их соотношением. Однако на практике часто наблюдается, что внесение одного элемента способствует поступлению в растение другого, и наоборот, несбалансированность элементов в почве сказывается отрицательно на потреблении ряда элементов, содержащихся в ней в достаточном количестве. Поэтому большое внимание уделяется установлению оптимального

соотношения питательных веществ в почве, которое характеризует сбалансированное питание каждой культуры и позволяет более точно ставить диагноз минерального питания и его регулировать (табл.).

Таблица – Оптимальное соотношение азота и фосфора (P:N) при определенном уровне азотного питания овощных культур и картофеля

Культура	Фаза развития	N–NO ₃ , мг/100г почвы		
		2,0 - 2,5	2,5 - 3,0	3,0 – 4,0
Огурцы	Бутонизация и цветение			8
Картофель	Бутонизация и цветение		10	
Столовая свекла	4 – 6 листьев 8 – 10 листьев	11	10	
Томаты	1 – 2 кисти 4 – 5 кистей	11	10	
Морковь	6 – 8 листьев	11		
Капуста	Образование розетки Завязывания кочана		10	8

Примечание: оптимальное соотношение между K и N в почве такое же, как между P и N.

Наиболее требовательными к азотному питанию являются капуста в фазу завязывания кочана и огурцы. Потребность столовой свеклы и томатов в нитратном азоте с возрастом изменяется в сторону более широкого соотношения между P₂O₅ и N–NO₃. Напротив, капусте ранней и поздней максимум нитратного азота в почве требуется в фазу завязывания кочана (3,0 – 4,0 мг/100 г почвы), а в фазу розетки – 2,5 – 3,0 мг/100 г.

Содержание нитратного азота в условиях орошения в черноземах Западной Сибири растет, начиная с весны, и достигает максимума к середине вегетации овощных культур (июль—август). К осени оно снова падает до низкого содержания. Такая цикличность соответствует изменению температурного фактора и жизнедеятельности микрофлоры. Нитраты распределяются по почвенным горизонтам неравномерно; больше всего их в горизонте 0—30 см. Содержание нитратного азота сильно варьирует по годам и в течение сезона не зависит от исходного плодородия почвы.

На основании исследований Ю.И. Ермохина (1984) по овощным, кормовым культурам и картофелю, А.Е. Кочергина (1961, 1974), Г.П. Гамзикова (1978), П.И. Крупкина и других (1974) с зерновыми культурами было установлено, что для диагностики азотного питания высеваемых или высаживаемых культур лучший срок отбора почвенного образца— поздняя осень или ранняя весна, а для культур теплолюбивых, поздно высеваемых или высаживаемых — за неделю перед посевом (или посадкой).

Подвижность фосфора и калия в почве ниже, чем подвижность нитратного азота и отбор почвенных образцов для целей диагностики чаще всего проводят поздней осенью. Изменение содержания этих элементов в течение вегетации при орошении не имеет закономерного характера. Оно обусловлено внесением удобрений, попеременным увлажнением и высушиванием почвы, поглощением культурами и реакциями, имеющими тенденцию восстанавливать равновесие между формами того или иного питательного вещества в почве. Внесение азотных удобрений увеличивает содержание доступного фосфора в почве и, наоборот, наличие достаточного количества подвижных фосфатов заметно способствует

накоплению нитратов в почве. Как правило, полный успех всех мероприятий по удобрению овощей и картофеля на поливе обеспечивается только при наличии следующих факторов:

- тщательности обработки почвы, упорядочения ее водного режима;
- введения целесообразного севооборота;
- использования высококачественного посевного (посадочного) материала;
- решительной борьбы с сорняками и вредителями сельскохозяйственных культур;
- правильного подбора форм и доз минеральных удобрений, их соотношений, способов внесения и заделки в почву.

4.2. Расчет доз удобрений под сельскохозяйственные культуры по результатам почвенной диагностики

Одним из самых актуальных, и в то же время самых сложных вопросов в агрохимии является установление доз удобрений под сельскохозяйственные культуры. Достаточно широко распространено определение доз удобрений по данным полевых опытов с удобрениями. Сторонники этого метода исходят из того, что на основании полевых опытов зональные научно-исследовательские и другие опытные учреждения должны давать рекомендации по дозам минеральных удобрений под отдельные культуры, применительно к разным зонам страны и с учетом главнейших типов почв, их механического состава и агрохимических картограмм содержания питательных веществ в почве. В настоящее время все сельскохозяйственные подразделения имеют агрохимические картограммы содержания питательных веществ в почве (фосфора, калия, имеются картограммы содержания микроэлементов и т.д.).

Расчет доз удобрений (кг/га) этим методом производится по формуле

$$Д = Д_0 \cdot К,$$

где $Д_0$ — доза удобрений, рекомендованная для зоны, кг/га; $К$ — поправочный коэффициент в зависимости от класса обеспеченности почвы питательными веществами.

Сотрудники кафедры агрохимии ОмГАУ предложили простую формулу для расчета доз удобрений под овощные культуры и картофель с учетом абсолютного дефицита и относительного недостатка элементов питания в почве, которые могут наблюдаться в практике овощеводства и картофелеводства. При абсолютном дефиците того или иного элемента достаточно внести в почву недостающий элемент и довести его до оптимального уровня, который равен для фосфора и калия 26 мг/100г, а нитратного азота - 2,6 мг/100 г почвы (табл). Для этого сначала устанавливают коэффициент действия ($К_d$) азотных, фосфорных и других удобрений по формуле, предложенной Ю.И. Ермохиным:

$$К_d = \frac{\text{Оптимальное содержание элементов в почве}}{\text{Фактическое содержание элементов в почве}}$$

Если $К_d$ больше единицы, то требуется применять удобрения. Наибольшее значение $К_d$ для определенного элемента будет указывать на необходимость его первоочередного применения, что соответствует действию закона минимума в практике использования удобрений.

Доза элемента питания ($ЭП$) для овощных культур устанавливается по формуле:

$$Д = К_d \cdot 45,$$

где: 45 — минимальная доза питательного вещества в основном удобрении под картофель и овощные культуры, кг/га.

Относительный недостаток питательных элементов в почве отмечается при отклонении фактического баланса элементов питания относительно оптимального, уравновешенного. Ю.И. Ермохиным установлено, что оптимальный, или уравновешенный баланс питательных

веществ почвы (мг/100 г) до посева (посадки) культур оценивается по следующему уравнению:

$$P_2O_5 = 10 (N - NO_3) = K_2O$$

Предположим, что в почве до посадки картофеля фактический баланс элементов питания выражался равенством:

$$P_2O_5 = 7 \cdot N - NO_3 = K_2O$$

Сравнивая его с оптимальным балансом, приходим к выводу об относительной недостаточности фосфора по отношению к азоту. В этом случае даже если фактическое содержание азота в почве будет ниже оптимума (оптимум-2,6 мг/100 г почвы), внесение азотных удобрений не даст положительного эффекта пока лимитирующий элемент (фосфор) не достигнет оптимальной величины. Коэффициент действия фосфорных удобрений рассчитывают по формуле:

$$K_d = \frac{\text{Оптимальное соотношение элементов в почве}}{\text{Фактическое соотношение элементов в почве}}$$

В нашем примере:

$$K_d = \frac{P_2O_5 \div N - NO_3(\text{opt})}{P_2O_5 \div N - NO_3(\text{факт})} = \frac{26 \text{ мг} / 100 \text{ г} \div 2,6 \text{ мг} / 100 \text{ г}}{7} = 1,43$$

Следовательно, для сбалансированности фосфора по содержанию азота нужно фактическое содержание P_2O_5 в почве увеличить в 1,43 раза. Таким образом создается гармоничное сочетание необходимых растению питательных веществ, вносимых в почву и имеющихся в ней, что обеспечивает оптимальное питание и как следствие – наилучшие рост и развитие.

Важно также установить оптимальное содержание микроэлементов в почве. По многолетним данным полевых и вегетационных опытов с микроэлементами на черноземных почвах Омской области сотрудниками кафедры агрохимии ОмГАУ были получены уровни обеспеченности овощных культур марганцем, медью, молибденом, бором и величины оптимальных соотношений этих элементов в почве, что дает возможность успешно диагностировать эффективность микроудобрений (табл.).

Таблица Уровень обеспеченности марганцем, медью, молибденом и бором растений в условиях полевого овощеводства

Класс	Уровень обеспеченности	Содержание в почве, мг/кг			
		Mn	Cu	Mo	B
1	Недостаточный	80	4,5	0,4	Менее 1,5
2	Оптимальный	80 – 90	4,5 – 5,5	0,5 – 0,6	1,5
3	Высокий	Более 90	Более 5,5	Более 0,6	Более 1,5

Оптимальный уравновешенный баланс этих микроэлементов в почве (мг/кг) выражается уравнением

$$Mn = 17Cu = 154 Mo = 57 B.$$

Данное уравнение позволяет до посадки или посева сельскохозяйственных культур в условиях орошения выявить относительный недостаток или избыток марганца, меди, молибдена или бора и первоочередность внесения одного из четырех элементов.

Так, если в почве до посадки (посева) овощных культур в слое 0—30 см содержится марганца 85 мг/кг почвы, а соотношение Mn:Cu будет больше 17, то растение в первую очередь испытывает потребность в меди. При соотношениях Mn:Cu < 17 или Mn: Mo < 154, Mn: B < 57 овощные культуры будут нуждаться прежде всего в марганце.

Такой сравнительно простой и доступный метод расчета доз удобрений при основном внесении позволяет использовать агрохимические картограммы содержания элементов питания в почве. Данный метод расчета в течение ряда лет проверялся в хозяйствах Омской области и показал вполне удовлетворительные результаты.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается сущность метода почвенной диагностики? Назовите стандартные методы определения нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия для различного типа почв.
2. На какие группы подразделяют почвы по содержанию подвижных форм фосфора и калия? Назовите значения средней обеспеченности черноземных и дерново-подзолистых почв этими элементами
3. Назовите значения $N-NO_3$, P_2O_5 и K_2O , соответствующие оптимальной обеспеченности ими картофеля и овощных культур на черноземах (по Ю.И. Ермохину)
4. Для чего надо знать оптимальное соотношение между элементами питания?
5. Приведите формулы расчета доз удобрений под овощные культуры при абсолютном дефиците и при относительной недостаточности элементов питания в почве
6. Назовите содержание в почве микроэлементов, соответствующее оптимальному уровню обеспеченности ими овощных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

4. Агропочвоведение. Под ред. В.Д. Мухи. – М.: КолосС, 2004. – 528 с.
5. Агрохимия. Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
6. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высш. шк., 2005 – 558 с.

Дополнительная

5. Агрохимия / Б.А. Ягодин и [др.]: учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
6. Агрохимия: учебник / ред.: Б. А. Ягодин. - М.: Колос, 1982. - 574 с.
7. Агрохимия и система удобрения: учебное пособие / Н.Х. Дудина. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 400 с.
8. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Росагропромиздат. 1990.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ В ИНТЕНСИВНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Мировая и отечественная практика интенсивного земледелия убедительно показывает, что удобрения – это материальная основа количества и качества получаемой растениеводческой продукции, источник биогенных элементов для растений.

Биогенные элементы – это химические элементы, входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. Научно обоснованная система применения агрохимических средств позволяет решать задачи:

- расширенного воспроизводства плодородия почв;
- бездефицитного или положительного баланса биогенных элементов и гумуса в системе «почва – растение – удобрение»;
- получения растениеводческой продукции, сбалансированной по химическому составу и питательной ценности;
- повышения рентабельности аграрного производства;
- улучшения экологической ситуации в аграрной сфере.

В то же время применение удобрений и других средств химизации – это весьма активное влияние на природную среду. Наличие различных токсических примесей в минеральных удобрениях, неудовлетворительное их качество, а также возможное нарушение технологии их использования могут привести к серьезным негативным последствиям. В настоящее время в индустриально развитых странах, а также в ряде регионов нашей страны применяются высокие дозы минеральных удобрений, и их негативное влияние на природную среду приобретает опасный характер.

Это на 1990 г, теперь использование удобрений в России резко уменьшилось и об опасности судить трудно – все вывозится за границу. В России остается только экологический вред, связанный с добычей и транспортировкой импортной нефти.

По самому роду своей деятельности каждый аграрий является самым первым блюстителем порядка в природе, ее хранителем, а рациональное хозяйствование на земле – важнейшее условие ее процветания.

Экологические аспекты применения агрохимических средств

Основные причины загрязнения природной среды удобрениями, пути их потерь и непроизводительного использования следующие.

1. несовершенство технологии транспортировки, хранения, тукосмешения и внесения удобрений.
2. Нарушение агрономической технологии их применения в севообороте и под отдельные культуры.
3. Водная и ветровая (дефляция) эрозия почвы.
4. Несоответствие качества и свойств минеральных удобрений.
5. Интенсивное использование различных промышленных, городских и бытовых отходов на удобрения без систематического и тщательного контроля их химического состава.

В несовершенстве

Технологии транспортировки и внесения удобрений необходимо выделить ряд моментов. Так, недостаток в транспортировке удобрений заключается в перевалочной системе от завода до поля и в дефиците специализированных автотранспортных средств. Значительная часть агрохимических средств перевозится автосамосвалами общего назначения, что приводит к существенным их потерям.

Увеличение объема складских емкостей, а также совершенствование механизированной технологии работы на складах, т.е. погрузочно-разгрузочных работ и тукосмешения с заданным соотношением питательных элементов в тукосмеси, существенно снижают потери минеральных удобрений, повышают их эффективность, сохраняют природную среду от загрязнения.

Существенным источником непроизводительного расходования минеральных удобрений, снижения их положительного действия являются неравномерное распределение по поверхности поля и их сегрегация (расслоение) при транспортировке и внесении. Например, потери урожая картофеля при внесении нитрофоски (полного минерального удобрения с заданным соотношением питательных веществ, специализированным по культурам) в дозах 60-90 кг/га с неравномерностью 60% достигают 20 ц/га (это 3 ведра с сотки). Недобор урожая от неравномерности внесения удобрений возрастает при использовании высококонцентрированных удобрений, при повышении доз, при высокой отзывчивости культуры на удобрения.

Для применения твердых минеральных удобрений разработаны специальные комплексы машин (погрузчики, измельчители, разбрасыватели и др.), а для применения жидких удобрений комплексы насосных установок, цистерн и разбрызгивателей. Особый комплекс машин применяется для внесения органических удобрений.

Нарушение научно обоснованной агротехнологии применения удобрений является одним из основных источников потерь удобрений и загрязнения окружающей среды.

Азот

При рассмотрении влияния агрохимических средств на природную среду первостепенное значение имеет азот. Азотные удобрения решают проблему белка, а следовательно, и уровень продуктивности земледелия и животноводства. При нарушении же технологии их применения они могут оказать существенное негативное воздействие на биосферу – почву, воду, атмосферу, растения, а через них – на животных и человека. Потери азота из удобрений бывают довольно значительными. Он усваивается в полевых условиях примерно на 40%, в отдельных случаях – на 50-70, иммобилизуется в почве на 20-30%. Большая его доля включается в состав гумусовых веществ, устойчивых к гидролизу. Потери азота за счет улетучивания различных газообразных соединений составляют в среднем 15-25% от внесенного, а потери от вымывания зависят от свойств почвы, климата, водного режима, формы и дозы удобрения, вида культуры и т.д. Например, в Земледелии Европы 2/3 потерь азота приходится на зимний период и 1/3 – на летний.

В Нечерноземной зоне в среднем вымывается 10-15 кг/га нитратного азота, на супесчаных почвах – 20-25 кг/га, а на суглинистых – до 10 кг/га. В годы с нормальным увлажнением эти показатели снижаются примерно вдвое. В целом же способность почвы удерживать питательные элементы определяется ее разновидностью (песок<суглинок<глина), но всегда она ограничена. Поэтому избыток элементов питания, внесенных в почву с удобрениями, является потенциальным источником их вымывания. На дерново-подзолистых легких почвах при внесении за 6 лет 345 кг азота потери его на рыхлопесчаной почве составил 161, а на связнопесчаной – 83 кг/га. Аналогичные примеры имеются во многих странах мира.

Важнейшим агрономическим мероприятием, предотвращающим потери удобрений и биогенных элементов почвы в природную среду, является освоение научно обоснованных севооборотов.

Зависимость между вымыванием питательных элементов и видом культурных посевов представляет следующий порядок: овощные>корнеплоды>зерновые>кормовые травы.

Значительный ущерб окружающей среды наносит бессистемное использование бесподстилочного навоза, навозных стоков и других отходов животноводства в нарушение научно обоснованных рекомендаций. Наиболее существенными нарушениями технологии

использования органических удобрений являются:

1) недостаточное использование подстилочных материалов и несовершенство систем навозоудаления, что в 1,5-2 раза уменьшает выход высококачественных органических удобрений, приводит к ежегодным потерям миллионов тонн жидких органических фракций;

Пример из «Звезды» о сбросе навозонакопителя в реку Бым и загрязнении всего бассейна р. Ирени и Сылвы. Вклад в эвтрофикацию Камского водохранилища.

2) неравномерное внесение навоза и компостов из-за недостаточного количества навозоразбрасывателей и применения бульдозеров и других примитивных средств, значительно снижающих эффективность органических удобрений;

3) нарушение соотношения численности животных и удобряемой площади, что ведет к избыточному удобрению полей, загрязнению окружающей среды;

4) недостаток при животноводческих комплексах ирригационно подготовленных площадей для использования животноводческих стоков (при гидросмыве) и жидкой фракции бесподстилочного навоза на орошение, а также слабое развитие трубопроводного транспорта и полевых навозохранилищ, что значительно повышает эксплуатационные затраты по сравнению с использованием мобильных средств, возрастают и потери навоза;

5) недооценка использования бесподстилочного навоза в сочетании с измельченной и рассеянной по полю во время уборки зерновых соломой и сидерацией полей.

Обобщение отечественного и зарубежного опыта использования органических удобрений позволяет заключить, что для предотвращения потерь биогенных элементов, особенно азота, необходимо руководствоваться следующими общими положениями:

1) на 1 га севооборотной (полевой) должно вноситься ежегодно не более 200 кг азота;

2) в хозяйствах, имеющих животноводческие комплексы, в севооборотах необходимо вводить промежуточные культуры на корм скоту или в качестве зеленого удобрения (уплотненный посев сельскохозяйственных культур в севообороте практически предотвращает потери нитратов за счет вымывания, вследствие интенсивного их использования растениями);

3) осенью бесподстилочный навоз можно комбинировать с запахиваемой соломой или зеленым удобрением (в этом случае азот биологически иммобилизуется [синтезируется в органические формы] осенью и в весенне-летний период, что значительно сокращает потери).

Фосфор

Фосфор как биогенный элемент меньше теряется в окружающую среду вследствие малой его подвижности в почве и не представляет такой экологической опасности, как азот. Потери фосфатов чаще всего происходят в результате эрозии почвы. В результате поверхностного смыва почвы с каждого гектара уносится до 10 кг фосфора. Потери же водорастворимых фосфатов с поверхностным стоком небольшие. При вымывании из почвы потери фосфора составляют не более 1 кг/га. Высокая способность глинистых и суглинистых почв связывать фосфаты в водонерастворимые комплексы удерживает его от миграции по профилю почвы, тем более до грунтовых вод.

Калий

Потери калия более значительны, чем фосфора. В Нечерноземной зоне РСФСР вымывание калия составляет 5-10 кг/га пашни и более в зависимости от вида культуры, гранулометрического состава почвы, количества атмосферных осадков и т.д. Повышение коэффициента использования калия и уменьшение потерь достигается за счет комплекса современных мер (оптимальное сочетание со всеми питательными элементами, уплотненные посевы промежуточных культур, дифференцированные почвозащитные системы обработки почвы, химическая мелиорация почв, орошение и осушение и др.)

Интенсивное применение минеральных удобрений усиливает миграцию и потери кальция, магния, серы и других биогенных элементов. В табл. ?? приведены обобщенные данные по

количеству вымываемых питательных элементов в Нечерноземной зоне России в зависимости от гранулометрического состава почвы.

Таблица

Среднее вымывание элементов удобрений в Нечерноземной зоне России атмосферными осадками при внесении в почву N60P60K60, кг/га пашни (по Минееву)

Элемент	Суглинистые почвы	Супесчаные почвы
Азот	1-6	14-18
Калий	7	10-12
Кальций	50	70-120
Магний	3-7	10-15
Сера	14	25

Эрозия почвы

Большой ущерб в условиях интенсивного земледелия наносит эрозия почвы. Она приобретает глобальный характер и требует коллективных усилий всех стран, как и при решении других проблем охраны окружающей среды. Только овраги ежегодно «съедают» 100-200 га земли, а площадь, выводимая из аграрного использования, в 3-4 раза превышает площадь оврага. В результате эрозии почвы теряется 20% продукции растениеводства, а общая сумма ущерба составляет примерно 10-11 млрд. рублей в год (в ценах 1980-х гг.). Степень развития эрозии почвы и размера ущерба от нее зависят от многих факторов: рельефа местности, вида культуры, гранулометрического состава почвы, интенсивности орошения или выпадающих атмосферных осадков, уровня удобренности полей, системы обработки почвы и др.. Потери массы почвы и органического вещества за счет водной эрозии в зависимости от степени эродированности почв могут достигать десятков тонн массы плодородного горизонта почвы и тонн гумуса с гектара в год.

За счет водной эрозии пахотных почв потери органического вещества могут значительно превышать то количество, которое минерализуется при распашке и которое может быть восстановлено запашкой растительных остатков и органических удобрений. Потери отдельных питательных элементов от эрозии почвы бывают разными в зависимости от характера использования аграрных угодий, крутизны склона, интенсивности орошения и т.д. По обобщенным данным научных учреждений России, недобор урожая на слабосмытых почвах составляет 10-12%, на среднесмытых – 30-50, а на сильносмытых- 60-80%.

Среди комплекса важнейших противоэрозионных мероприятий мощным агротехническим средством повышения противоэрозионной устойчивости почв является применение органических и минеральных удобрений. Растения на удобренной почве развивают более мощную корневую систему, улучшают физические свойства почв, что способствует защите почв от эрозии. Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения и заделки удобрений является важным средством предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании из почвы.

Анализ причин появления эрозии почвы показывает, что это не неизбежное явление, а вызывается оно в значительной мере нарушением научных принципов и законов земледелия, научно обоснованного комплекса приемов агрономической технологии. Анализ отечественных и зарубежных исследований и практической деятельности передовых хозяйств позволяет рекомендовать следующий комплекс основных агрономических мероприятий по предотвращению эрозии почвы и потерь питательных веществ.

1. Разработка и освоение научно обоснованных специализированных с учетом степени эрозионной опасности почвозащитных севооборотов;

2. Система противоэрозионной обработки почвы: безотвальная, плоскорезная, минимальная, полосная, контурная, гребнистая, ячеистая, чизелевание, щелевание почвы и т.д.;

3. Внедрение контурного, террасного, плоского земледелия и комплекса противоэрозионных, мелиоративных мероприятий.

4. Использование пожнивных посевов, а также уплотненный посев почвозащитной культуры в междурядье основной (пропашной). Этот прием особенно эффективен на легких почвах.

5. Залужение посевами многолетних трав участков, сильно подверженных эрозии.

6. Правильный выбор форм, доз, сроков и способов внесения минеральных и органических удобрений – важное средство предотвращения потерь питательных веществ при смыве и выщелачивании из почвы.

7. Применение полимеров – структурообразователей.

Значительное количество биогенных элементов теряется в окружающую среду вследствие несовершенства свойств и химического состава удобрений и различных удобрительных средств. Например, потери азота мочевины, аммиачных форм удобрений в виде газообразного аммиака (NH_3) происходит под влиянием химических и микробиологических процессов, особенно при поверхностном их внесении. Эти потери возрастают на легких по гранулометрическому составу и высококарбонатных почвах. Заделка мочевины в почву значительно снижает потери азота. При благоприятных условиях на богатых гумусом почвах процесс превращения мочевины в углекислый аммоний происходит в течение 2-3 дней. На нейтральных и щелочных почвах, без осадков, потери азота в виде аммиака возрастают. Внесение же мочевины с заделкой ее в почву (под вспашку, предпосевную культивацию, в рядки при севе и т.д.) весьма эффективно.

Второй биологический путь потери азота из удобрений – процесс денитрификации в почве. Газообразные потери азота вследствие этого процесса достигают 15-25% и более от внесенной дозы этого элемента. Выделенные из почвы газообразные продукты азота представлены большей частью N_2 и N_2O .

Наиболее активный химический путь потерь азота удобрений из почвы – выделение свободного аммиака (NH_3) вследствие взаимодействия аммиачных форм удобрений со щелочными, высококарбонатными и переизвесткованными почвами. Часто биологические и химические процессы в почве взаимосвязаны.

Для торможения процесса нитрификации и уменьшения, таким образом потерь азота в ряде стран выпускаются специальные ингибирующие препараты (Extendv США, AM в Японии).

Существенным недостатком многих минеральных удобрений, особенно азотных, является их физиологическая кислотность, а также наличие остаточной кислоты вследствие технологии их производства. Интенсивное применение таких удобрений в севообороте приводит к заметному подкислению почв, созданию неблагоприятных условий для роста растений. В этом случае возрастает потребность в известковании почв и нейтрализации кислотности самих удобрений. Требуют улучшения и физические свойства минеральных удобрений, а также необходима разработка новых форм химических соединений в качестве удобрений. Эти исследования должны быть направлены на оптимизацию питания растений макро- и микроэлементами, сочетания питательных элементов со стимуляторами роста, ретардантами, ингибиторами нитрификации и т.д.

Сейчас уделяется внимание капсулированию удобрений, покрытию гранул различными пленками, элементарной серой. Важно получать удобрения с контролируемым освобождением питательных элементов, особенно азота, в процессе вегетации культур.

Токсичные примеси

Существенным недостатком многих минеральных удобрений является наличие в них сопутствующих балластных элементов (фтора, хлора, натрия), а также токсичных тяжелых

металлов (кадмия, свинца, мышьяка). Содержание небольших доз микроэлементов (Cu, Mo, Mn, B, Zn) полезно, если не превышает токсической нормы. Систематическое внесение с минеральными удобрениями незначительных примесей тяжелых металлов и других токсичных веществ, ведущее к накоплению их в почве, представляет очень серьезную экологическую опасность.

Токсические элементы попадают в минеральные удобрения главным образом с сырьем для их производства, частично загрязняют их в технологическом процессе. Например, 50-80% фтора, поступающего с фосфатным сырьем, остается в удобрениях, поэтому с 1 т необходимого растениям фосфора на поля поступает около 160 кг фтора – это приводит к ухудшению свойств и плодородия почвы, к ингибированию в ней биологических процессов, нарушению биохимических процессов в растениях. Фтор отрицательно влияет на фотосинтез и биосинтез белка, нарушает деятельность таких ферментов как энлаза, фосфоглюкомутаза, фосфатаза. Он может накапливаться в продуктах питания, в пшенице, картофеле, рисе, отрицательно влияя на здоровье животных и человека.

Большую опасность представляет кадмий фосфатов. Он близок по свойствам кальцию и трудно (и дорого) выделяется из фосфатных руд.

Потенциальным источником загрязнения почв культурных угодий являются представляющие особую опасность применяемые на удобрение отходы промышленности, осадки сточных вод (ОСВ), фосфогипс, а также сапропель и др. Обычно их применяют в больших дозах, так как полезного компонента в них мало. Систематическое их использование чревато насыщением почвы тяжелыми металлами и другими вредными веществами до токсического уровня. Так, пиритные огарки (применяются как медное и комплексное микроудобрение) содержат 40-63% железа, 1-2 серы, 0,33-0,47 меди, 0,42-1,35 цинка, 0,32-0,58 свинца и другие металлы. В свежих отвалах пиритных огарков содержится до 0,15% мышьяка. Под воздействием атмосферных осадков из них выщелачиваются многие токсические вещества, которые загрязняют почву и водоемы. Использование высоких доз (5-6 ц/га) пиритных огарков в качестве, например, медного удобрения приводит к загрязнению почвы свинцом, мышьяком, и другими тяжелыми металлами, а следовательно, и к повышению их содержания в продукции земледелия.

Средний химический состав фосфогипса из апатитового концентрата следующий (%): Са-28,3; SO₃-55,5; P₂O₅-1,5; F- 0,30; Sr-1,8-2,0. Фосфогипс вносится для улучшения солонцовых почв в дозах 5-20 т/га, с этим в почву попадает от 100 до 400 кг/га стронция. Критическое содержание стронция в почве может достигаться при внесении 40 т/га фосфогипса, что за два цикла вполне реально.

Значительное загрязнение почв токсическими элементами возможно при использовании на удобрение осадков сточных вод (ОСВ). Для сравнения в таблице приведены и данные по почвам.

По данным ученых Шотландии, удобрение осадком, содержащим 5 мг/кг подвижного кадмия, даже в дозе 25 т/га может повысить уровень доступного кадмия в почве на 50%, а превышение 5 мг/кг доступного растениям кадмия в почве опасно с точки зрения экологии.

В США при условии непрерывного использования сточных вод для орошения на почвах всех типов концентрация кадмия не должна превышать 0,01 мг/л, Cr – 0,10; Cu – 0,20; Pb – 5,0; Ni – 0,2; Zn – 2 мг/л.

За последние годы довольно активно ставится вопрос о широком использовании сапропеля в качестве органического удобрения. С ним также возможно попадание в почву тяжелых металлов и токсических соединений. По Минееву В.Г. (1990) содержание кадмия в сапропеле составляет 50-180 мг/кг сухой массы. При внесении его в почву содержание кадмия в растительной массе повышалось на 0,02-1,1 мг/кг сухой массы, а в почве на 6-73 мг/кг.

Многочисленные пути возможного загрязнения природной среды агрохимическими средствами не остаются без последствий, а оказывают многостороннее негативное влияние практически на все звенья биосферы.

Негативное воздействие агрохимических средств на природную среду.

Неблагоприятное воздействие удобрений, различных отходов, применяемых в качестве удобрений и химических мелиорантов, можно свести в основном к следующему.

1. Неправильное применение удобрений может ухудшить круговорот и баланс питательных веществ, агрохимические свойства и плодородие почвы.

2. Нарушение агрономической технологии применения удобрений, несовершенство качества и свойств минеральных удобрений могут снизить урожай и его качество.

3. Попадание питательных элементов удобрений и почвы в поверхностные и грунтовые воды приводит к усиленному росту водорослей, образованию планктонов, т.е. к эвтрофированию природных вод с вытекающими отсюда негативными последствиями.

4. Попадание удобрений и их соединений в атмосферу отрицательно сказывается на деятельности аграрных и других предприятий, здоровье животных и человека. Высказываются также опасения о возможном разрушении озонового экрана стратосферы вследствие проникновения в нее закиси азота (N_2O), образующейся при денитрификации азотных соединений почвы и удобрений.

5. Нарушение оптимизации питания растений макро- и микроэлементами приводит к различным заболеваниям растений, а часто и способствует развитию фитопатогенных грибных болезней, ухудшает фитосанитарное состояние почв и посевов.

Влияние агрохимических средств на свойства и плодородие почвы

Почва – важное звено биосферы, и она прежде всего подвергается сложному комплексному воздействию удобрений и других агрохимических средств, которые могут оказывать на нее следующее влияние:

- подкислять или подщелачивать среду;
- улучшать или ухудшать свойства почвы, ее биологическую и ферментативную активность;
- способствовать вытеснению ионов в почвенный раствор вследствие физико-химического их поглощения;
- способствовать или препятствовать химическому поглощению биогенных и токсичных элементов;
- усиливать минерализацию гумуса или способствовать его синтезу;
- ослаблять или активизировать биологическую фиксацию N_2 из атмосферы;
- усиливать или ослаблять действие других питательных элементов почвы или удобрений;
- мобилизовывать или иммобилизовывать макро- и микроэлементы почвы;
- вызывать антагонизм или синергизм питательных элементов и, следовательно, существенно влиять на их поглощение и метаболизм в растениях.

Многостороннее воздействие на почву агрохимических средств можно показать на следующих примерах. Систематическое применение физиологически кислых минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах повышает их кислотность, ускоряет вымывание из технологического горизонта кальция и магния, увеличивает ненасыщенность почв основаниями, в целом снижает плодородие почвы. В этом случае применение минеральных удобрений необходимо сочетать с известкованием как приемом химической мелиорации почвы, тогда в комплексе создаются оптимальные условия питания растений и улучшения свойств почвы. Известкование снижает кислотность почвы и улучшает ее свойства, усиливает биологическую активность, мобилизует фосфор, молибден, но иммобилизует железо, цинк, никель, медь, кобальт, марганец и другие элементы. Известкование также ослабляет токсичность многих тяжелых металлов, как кадмий, свинец,

стронций, ртуть, и другие, снижая их доступность растениям.

Оптимизация применения удобрений под различные культуры с учетом плодородия почвы существенно снижает поступление токсических веществ в растение. Чем лучше обеспеченность растений элементами питания и чем ближе их соотношения к оптимуму, тем меньше поступает, например, радионуклидов в растения, что подтверждается опытными данными по ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{137}Cs .

Вопросы влияния сбалансированного питания растений макро- и микроэлементами на поглощение ими тяжелых металлов и других токсических элементов имеют важное теоретическое и практическое значение, прежде всего для земледелия в районах с интенсивно развивающейся промышленностью, где возрастает техногенное загрязнение почв различными токсическими элементами и соединениями. На основе экспериментальных данных научно обоснована система агромероприятий, реализация которых существенно снижает поступления радионуклидов (стронция-90 и цезия-137) в продукцию растениеводства.

Эти мероприятия включают:

1) разбавление поступающих в почву радионуклидов в виде небольших примесей (в зоне ЧАЭС) их химическими аналогами (кальцием [для блокирования стронция], калия [для блокирования цезия] и др.);

2) Уменьшение степени доступности радионуклидов в почве путем внесения веществ, переводящих их в менее доступные для корней формы (органическое вещество, фосфаты, карбонаты и др.);

3) заделку загрязненного слоя почвы в подпахотный горизонт за пределы зоны распространения корневых систем (на глубину 50-70 см);

4) подбор культур и сортов, накапливающих минимальное количество радионуклидов;

5) размещение на загрязненных почвах технических культур, использование этих почв под семенные участки.

Аналогичные системы мероприятий могут быть использованы и для снижения загрязнения сельскохозяйственной продукции другими токсическими веществами нерадиоактивной природы.

Техногенное загрязнение.

Техногенное загрязнение почвы различными элементами может оказать существенное влияние на ее химический состав; агрохимические, физико-химические и биохимические свойства; состав и активность почвенной биоты.

В исследованиях на дерново-подзолистых и черноземных почвах установлено, что загрязнение медью, хромом, цинком, никелем, свинцом на уровне одного-двух кларков (в сравнении с незагрязненной почвой) сопровождалось существенным изменением биоты: уменьшением общего количества бактерий, спорообразованием их, резким сокращением числа актиномицетов и увеличением количества грибов, падением численности в почве насекомых (жуличиц, чернотелок) и дождевых червей. Отмечено снижение ферментативной активности в почве.

Мутагенная активность загрязненной почвы, регистрируемая в меристематических клетках корней растений, в 5-10 раз выше, чем в незагрязненной почве. Изменения гумусового состояния почвы и ППК (хранителя почвенного плодородия и потенциала самоочищающей ее способности) являются важными показателями неблагоприятного воздействия загрязнителей на почву. Поэтому должны нормироваться реакция среды, замещение в ППК кальция и магния тяжелыми металлами, минерализация гумуса, изменение физического состояния почвы, химического и санитарного состояния почвенного раствора и почвенного воздуха.

Получение высококачественной продукции растениеводства – центральная проблема

человечества в условиях нынешнего и будущего земледелия с возрастающими темпами химизации.

Если применением удобрений и других агрохимических средств создаются оптимальные условия питания культурных растений, то имеются все предпосылки для получения высококачественной продукции. Например, оптимизация азотного питания озимой пшеницы позволяет практически во всех земледельческих зонах получать высокобелковое зерно, отвечающее требованиям по питательности и хлебопекарным свойствам. Правильное соотношение между макро- и микроэлементами в удобрениях, вносимых под сахарную свеклу, - реальный и эффективный путь увеличения сбора сахара за счет повышения сахаристости корнеплодов. То же можно сказать и о качестве клубней картофеля, о повышении содержания жира в семенах масличных культур, сахаров и витаминов в плодах и овощах и т.д.

Однако на качество растениеводческой продукции могут оказывать существенное влияние техногенное загрязнение природной среды токсическими веществами и нарушение научных принципов применения удобрений.

Пути техногенного загрязнения и предотвращение его.

Основными путями техногенного загрязнения окружающей среды являются:

- токсические соединения и элементы, выделяемые промышленностью и транспортом;
- попадание их в почву с удобрениями, в которых они находятся в качестве примесей;
- бессистемное и бесконтрольное использование различных отходов на удобрение.

К загрязнителям окружающей среды чаще всего относят элементы: фтор, ванадий, хром, марганец, кобальт, никель, цинк, мышьяк, молибден, ртуть, свинец, кадмий. Некоторые из перечисленных элементов (V, Mn, Co, Zn, Mo) являются микроэлементами питания растений. При дефиците они применяются как микроудобрения для повышения величины урожая и его качества, а загрязнителями становятся только при накоплении в избыточных концентрациях вблизи мест выбросов.

Особое место среди загрязнителей составляют тяжелые металлы (свинец, кадмий, ртуть). Они хорошо адсорбируются в технологическом горизонте почвы, особенно при высоком содержании гумуса и при тяжелом механическом составе.

Проявление токсического влияния тяжелых металлов на растение возможно различными путями. Это их денатурирующее действие на метаболически важные белки. Так как каталитическая и регуляторная роль белков для метаболической системы организмов является всеобъемлющей, нарушения могут захватывать самые различные звенья обмена. Возможен перевод фосфора в недоступную для метаболизма форму труднорастворимых фосфатов тяжелых металлов, а также конкуренция тяжелых металлов с необходимым элементом минерального питания, замена на специфических переносчиках и передатчиках этого элемента в метаболической цепи, что может привести к его дефициту. На почвах, загрязненных тяжелыми металлами, наблюдалось снижение урожайности зерновых культур на 20-30%, сахарной свеклы – на 40, картофеля – на 47%.

Проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами вследствие интенсивного развития соответствующих отраслей промышленности обостряется еще и в связи с тем, что почва не единственное звено биосферы, откуда в растения поступают загрязнители. Они могут поступать в растения непосредственно из атмосферы не корневым путем, а через листья.

Основные факторы, снижающие поступление тяжелых металлов в растения следующие.

1. Известкование кислых почв. Подвижность тяжелых металлов и их ингибирующая роль на рост растений возрастают с понижением pH. Известь увеличивает прочность связи металлов в почвах за счет образования труднорастворимых соединений при нейтральных значениях pH.

2. Внесение органических соединений в целях повышения содержания гумуса в почве. Органическое вещество обладает высокой способностью удерживать тяжелые металлы. Поэтому концентрация их в растениях выше на почвах с низким содержанием органического вещества. Кроме того органические коллоиды почвы могут образовывать с тяжелыми металлами стабильные комплексы типа хелатов.

3. Внесение фосфорных удобрений, снижающих поступление тяжелых металлов в растения. Эффективно совместное применение фосфорных удобрений и извести, особенно на кислых почвах.

4. Оптимизация минерального питания растений способствует снижению уровня тяжелых металлов в культурах.

5. В перспективе, по-видимому, определенный интерес будет представлять более широкое применение клиноптиломит содержащих туфов в качестве фильтров для предотвращения накопления тяжелых металлов в культурных растениях.

Отрицательное влияние удобрений

Основными причинами отрицательного влияния удобрений на качество урожая являются нарушение оптимальных доз, соотношения питательных элементов в удобрениях без учета их содержания в почве, форм и сроков их внесения, что отрицательно влияет на метаболизм органических соединений, особенно на синтез аминокислот и белков в растениях. Одновременно в растениях накапливаются в избыточном количестве нитраты, нитриты, которые в кислой среде реагируют с вторичными аминами, образуя нитрозоамины, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами. В здоровых растениях при нормальном азотном питании нитраты и нитриты в свободном состоянии не накапливаются. Поступив в растения, они подвергаются процессам восстановления под действием нитратредуктазы и нитритредуктазы. Полученное промежуточное соединение – гидроксилламин либо аммиак – связывается с органическими кислотами, которые превращаются в аминокислоты. Следовательно, нитраты могут накапливаться при избыточном их количестве в почве и при нарушенных биологических процессах в растении. Удобрение навозом или компостами как медленнодействующей формой азота приводит к меньшему содержанию нитратов в овощах по сравнению с эквивалентным количеством азота, внесенного с минеральными удобрениями.

Оптимизация азотного питания растений предусматривает и сроки внесения азотных удобрений в соответствии с биологическими требованиями растений. Это особенно важно учитывать при удобрении овощных культур и тех растений, у которых на питание используются вегетативные части. В процессе вегетации содержание нитратов в растениях снижается, поэтому убирать, особенно овощные культуры, необходимо в оптимальные сроки, а подкармливать азотом за 1,5-2 месяца до уборки урожая, чтобы растения смогли переработать поступившую нитратную форму азота.

Успешное использование растениями всех питательных элементов, поступивших через корневую систему, в том числе и утилизация нитратов, возможно при высокой фотосинтетической деятельности растений. Интенсивность света обуславливает активность фермента нитратредуктазы, обеспечивающего восстановление в растениях нитратов до аммония как компонента синтеза аминокислот. При низкой освещенности процессы восстановления нитратов и образования аминокислот затормаживаются. Этим объясняется значительно большее содержание нитратов в овощах, выращенных в теплицах в зимнее время, чем в растениях открытого грунта.

Нарушение научно обоснованной технологии использования в земледелии различных видов органических удобрений также снижает качество продукции. Среднегодовая доза ежегодно вносимого навоза (без опасения ухудшения качества урожая и поедаемости корма) рекомендуется эквивалентной не более 200 кг N/1 га, а наиболее эффективный срок внесения

навоза – осень, под зяблевую вспашку. Поскольку навоз влияет на ряд культур севооборота, то важно знать действие систематического внесения высоких доз бесподстилочного навоза, а в сочетании его с соломой и минеральными удобрениями – действие на плодородие и свойства почвы, накопление в ней тяжелых металлов, образование гумуса и процессы его минерализации, на миграцию элементов питания растений по профилю почвы, загрязнение грунтовых вод нитратами и солями тяжелых металлов и другие вопросы. Важно также учитывать связь перечисленных показателей с комплексным воздействием на качество урожая всех культур севооборота.

Внесение агрохимических средств может вызвать в почве мобилизацию или иммобилизацию биогенных и токсических элементов и изменение качества урожая. В этом случае большая роль отводится гумусу почвы, который связывает тяжелые металлы в комплексные соединения хелатного типа, т.е. малодоступные для растений формы, снижая их токсичность. Этим можно объяснить частое отсутствие зависимости между содержанием тяжелых металлов и выносом их растениями на высокогумусированных почвах.

Известкование кислых почв также является эффективным приемом по снижению токсичности тяжелых металлов, снижая их растворимость.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие задачи можно решать с помощью научно обоснованной системы применения агрохимических средств?
2. Как можно предотвратить потери биогенных элементов из почвы?
3. Охарактеризуйте влияние агрохимических средств на свойства почвы и ее плодородие.
4. Что такое техногенное загрязнение?
5. В чем заключается отрицательное влияние удобрений на окружающую среду?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Ефимов, В. Н. Пособие к учебной практике по агрохимии / В. Н. Ефимов, М. Л. Горлова, Н. Ф. Лунина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : КолосС, 2004. - 191 с. - ISBN 5-9532-0186-9
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

Дополнительная

1. Агрохимия / Б.А. Ягодин и [др] : учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
2. Агрохимия: учебник / ред.: Б. А. Ягодин. - М.: Колос, 1982. - 574 с.

РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ЭЛЕМЕНТАМИ ПИТАНИЯ

6.1. Химический состав растений и его изменчивость под влиянием минеральных и органических удобрений, мелиораций.

В состав растений входит вода и так называемое сухое вещество, представленное органическими и минеральными соединениями. Соотношение между количеством воды и сухого вещества в растениях, их органах и тканях изменяется в широких пределах. Так, содержание сухого вещества в плодах огурцов, бахчевых культур может составлять до 5% общей их массы, в кочанах капусты, корнях редиса и турнепса — 7-10, корнеплодах столовой свеклы, моркови и луковицах лука — 10-15, в вегетативных органах большинства полевых культур — 15-25, корнеплодах сахарной свеклы и клубнях картофеля — 20-25, в зерне хлебных злаков и бобовых культур — 85-90, семенах масличных культур — 90-95%.

Вода. В тканях растущих вегетативных органов растений содержание воды колеблется от 70 до 95%, а в запасающих тканях семян и в клетках механических тканей — от 5 до 15%. По мере старения растений общий запас и относительное содержание воды в тканях, особенно репродуктивных органов, снижается.

Функции воды в растениях обусловлены присущими ей физическими и химическими свойствами. Вода: 1. обладает высокой удельной теплоемкостью и способностью испаряться при любой температуре (предохраняет растения от перегрева); 2. прекрасный растворитель для многих соединений, способствует усвоению растениями ионов с элементами минерального питания; 3. поверхностное натяжение воды определяет ее роль в процессах поглощения и передвижения минеральных и органических соединений; 4. наполнитель растительных клеток и неотделимая часть их структуры, что обуславливает их тургор; 5. обеспечивает биохимические реакции синтеза и распада органических соединений в растительных организмах; 6. Способствует энергетическим преобразованиям в растениях, прежде всего в аккумуляции солнечной энергии в виде химических соединений при фотосинтезе; 7. обладает способностью пропускать лучи видимой и близкой к ней ультрафиолетовой части света, необходимой для фотосинтеза, и задерживает определенную часть инфракрасной тепловой радиации.

Содержание воды в растениях зависит от вида и возраста растений, условий водоснабжения, транспирации и в определенной степени от условий минерального питания. Влагообеспеченность наряду с другими факторами внешней среды оказывает значительное влияние на величину, качество урожая сельскохозяйственных культур и эффективность удобрений.

Сухое вещество. Сухое вещество растений на 90-95% представлено органическими соединениями — белками и другими азотистыми веществами, углеводами (сахарами, крахмалом, клетчаткой, пектиновыми веществами), жирами, содержание которых определяет качество урожая.

Сбор сухого вещества с товарной частью урожая основных сельскохозяйственных культур может колебаться в очень широких пределах — от 15 до 100 ц и более с 1 га.

Белки и другие азотистые соединения. Белки — основа жизни организмов — играют решающую роль во всех процессах обмена веществ. Белки выполняют структурные и каталитические функции, являются также одним из основных запасных веществ растений. Содержание белков в вегетативных органах растений обычно составляет 5-20% их массы, в

семенах хлебных злаков — 6-20%, а в семенах бобовых и масличных культур — 20-35%.

Белки имеют следующий довольно стабильный элементарный состав (в %): углерод — 51-55, кислород — 21-24, азот — 15-18, водород — 6,5-7, сера — 0,3-1,5.

Растительные белки построены из 20 аминокислот и двух амидов. Особое значение имеет содержание в белках растений так называемых незаменимых аминокислот (валина, лейцина и изолейцина, треонина, метионина, гистидина, лизина, триптофана и фенилаланина), которые не могут синтезироваться в организме человека и животных. Эти аминокислоты люди и животные получают только с растительными пищевыми продуктами и кормами.

Белки различных сельскохозяйственных культур неравноценны по аминокислотному составу, растворимости и переваримости. Поэтому качество растениеводческой продукции оценивается не только по содержанию, но и по усвояемости, полноценности белков на основе изучения их фракционного и аминокислотного состава.

Для оценки качества растениеводческой продукции часто пользуются показателем «*сырой протеин*», которым выражают сумму всех азотистых соединений (белка и небелковых соединений). Рассчитывают «сырой протеин» путем умножения процентного содержания общего азота в растениях на коэффициент 6,25 (получаемый исходя из среднего (16%) содержания азота в составе белка и небелковых соединений).

Углеводы. Углеводы в растениях представлены сахарами (моносахарами и олигосахаридами, содержащими 2-3 остатка моносахаров) и полисахаридами (крахмалом, клетчаткой, пектиновыми веществами).

Сахара содержатся в небольших количествах во всех сельскохозяйственных растениях, а в корнеплодах и отдельных органах овощных культур, плодах винограда, ягодах и фруктах могут накапливаться в качестве запасных веществ. Преобладающими моносахаридами в большинстве растений являются глюкоза и фруктоза, а олигосахаридами — дисахарид сахароза.

Сахароза — дисахарид, построенный из глюкозы и фруктозы. Сахароза является основным запасным углеводом в корнях сахарной свеклы (14-22%) и в соке стеблей сахарного тростника (11-25%). Целью выращивания этих растений и является получение сырья для производства сахара, используемого в питании людей. В небольших количествах находится во всех растениях, более высоким ее содержанием (4-8%) отличаются плоды и ягоды, а также морковь, столовая свекла и лук.

Крахмал в небольших количествах содержится во всех зеленых органах растений, но в качестве основного запасного углевода накапливается в клубнях, луковицах и семенах. Между содержанием белка и крахмала в растениях существует обратная зависимость. В богатых белками семенах зернобобовых культур крахмала меньше, чем в семенах злаков; еще меньше крахмала в семенах масличных культур.

Крахмал — легко усвояемый организмом людей и животных углеводов. При ферментативном (под действием ферментов амилаз) и кислотном гидролизе распадается до глюкозы.

Клетчатка, или целлюлоза — основной компонент клеточных стенок (в растениях она связана с лигнином, пектиновыми веществами и другими соединениями). Клетчатка — высокомолекулярный полисахарид из неразветвленной цепи глюкозных остатков. Ее усвояемость значительно хуже, чем крахмала, хотя при полном гидролизе клетчатки образуется также глюкоза.

Пектиновые вещества — высокомолекулярные полисахариды, содержащиеся в плодах, корнеплодах и растительных волокнах. В волокнистых растениях они скрепляют между собой отдельные пучки волокон. Свойство пектиновых веществ в присутствии кислот и сахаров образовывать желе или студни используется в кондитерской промышленности.

Жиры и жироподобные вещества (липиды) являются структурными компонентами

цитоплазмы растительных клеток, а у масличных культур — выполняют роль запасных соединений. Количество структурных липидов обычно небольшое — 0,5-1% сырой массы растений, но они выполняют в растительных клетках важные функции, в том числе по регуляции проницаемости мембран. Семена масличных культур и сои используют для получения растительных жиров, называемых маслами.

Среднее содержание жира в семенах важнейших масличных культур и сои следующее (в %): клещевина — до 60; кунжут, мак, маслина — 45-50; подсолнечник — 24-50; лен, конопля, горчица — 30-35; хлопчатник — 25; соя — 20.

К липидам относятся фосфатиды, воски, каротиноиды, стеарины и жирорастворимые витамины А, D, Е и К.

Содержание отдельных групп органических соединений в сельскохозяйственной продукции может изменяться в зависимости от видовых и сортовых особенностей растений, условий выращивания, способов возделывания и применения удобрений.

Условия питания растений имеют важное значение для повышения валового сбора наиболее ценной части урожая и улучшения его качества. Например, усиление азотного питания увеличивает относительное содержание в растениях белка, а повышение уровня фосфорно-калийного питания обеспечивает большее накопление углеводов — сахарозы в корнях сахарной свеклы, крахмала в клубнях картофеля. Созданием соответствующих условий питания с помощью удобрений можно повысить накопление наиболее ценных в хозяйственном отношении органических соединений в составе сухого вещества растений.

6.2. Биологический и хозяйственный вынос питательных веществ урожаем сельскохозяйственных культур.

Общая потребность сельскохозяйственных культур в элементах минерального питания характеризуется размерами биологического выноса — количеством этих элементов во всей формируемой биомассе растений, т. е. в надземных органах и корнях. Следовательно, биологический вынос включает содержание питательных веществ как в отчуждаемой с поля основной и побочной продукции (хозяйственный вынос), так и в корневых и пожнивных остатках, листовом опаде (остаточный вынос).

В практических целях потребность сельскохозяйственных культур в питательных веществах характеризуют, как правило, размером их выноса с урожаем, т. е. хозяйственным выносом.

Вынос питательных элементов с урожаем сельскохозяйственных культур и соотношение потребляемых элементов питания сильно различаются (табл.).

Культура	Урожайность продукции, т/га	Вынос с урожаем, кг/га		
		N	P205	K20
Зерновые злаковые	3,0-3,5	90-110	30-40	60-90
Зерновые бобовые	2,5-3,0	100-150	35-45	50-80
Картофель	20-30	120-200	40-60	180-300
Сахарная свекла	40-50	180-250	55-80	250-400
Кукуруза (зеленая масса)	50-70	150-180	50-60	180-250
Капуста	50-70	160-230	65-90	220-320
Хлопчатник	3,0-4,0	160-220	50-70	180-240

Это обусловлено особенностями химического состава растений, колебаниями уровня формируемого урожая и изменением его структуры.

Относительное содержание элементов минерального питания в основной и побочной продукции разнообразных сельскохозяйственных культур определяется, прежде всего, их видовыми особенностями, но зависит также от сорта и условий выращивания. Содержание азота и фосфора значительно выше в хозяйственно-ценной части урожая — зерне, корне- и клубнеплодах, чем в соломе и ботве. Калия же больше содержится в соломе и ботве, чем в товарной части урожая.

Капуста, картофель, сахарная свекла, хлопчатник, подсолнечник, кормовые корнеплоды и силосные культуры для создания высокого урожая потребляют гораздо больше питательных веществ, чем зерновые.

Вынос питательных веществ растениями из почвы возрастает с увеличением урожая. Однако прямой пропорциональности между величиной урожая и размером выноса основных питательных элементов часто не наблюдается. При большем уровне урожайности затраты питательных веществ на формирование единицы продукции обычно снижаются.

Вынос микроэлементов с урожаем сельскохозяйственных культур составляет лишь десятки или сотни граммов на 1 га и потребность во многих из них может полностью удовлетворяться за счет почвы и внесения органических удобрений, а нередко только за счет запасов в семенах. Например, для формирования урожая растения потребляют с 1 га от 20 до 250 г бора. Вынос марганца с урожаем различных культур колеблется от 100 до 700 г/га, вынос меди измеряется десятками граммов с 1 га. Однако, у культур, более требовательных к наличию микроэлементов, может проявляться их недостаток на почвах с низким содержанием доступных для растений форм. Применение микроэлементов в виде соответствующих микроудобрений в этом случае может значительно повысить урожай сельскохозяйственных культур и улучшить качество получаемой продукции.

Такие макроэлементы, как кальций, магний и сера, обычно содержатся в большинстве почв в количествах, достаточных для обеспечения растений. Кроме того, их вносят в почву с мелиорирующими материалами (известью и гипсом), а также они входят в состав органических и минеральных удобрений.

Для улучшения питания сельскохозяйственных культур в полевых условиях чаще всего необходимо внесение азота, фосфора и калия.

Неодинаковая количественная потребность и интенсивность поглощения растениями отдельных элементов питания должны учитываться при разработке системы применения удобрений. Особенно важно обеспечить благоприятные условия питания растений с начала вегетации и в периоды максимального поглощения.

Вопросы для самоконтроля

1. Как изменяется химический состав растений под действием удобрений?
2. Перечислите органические и минеральные соединения в составе растений.
3. Что такое биологический и хозяйственный вынос?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Ефимов, В. Н. Пособие к учебной практике по агрохимии / В. Н. Ефимов, М. Л. Горлова, Н. Ф. Лунина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : КолосС, 2004. - 191 с. - ISBN 5-9532-0186-9
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

Дополнительная

1. Агрохимия / Б.А. Ягодин и[др] : учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
2. Агрохимия: учебник / ред.: Б. А. Ягодин. - М.: Колос, 1982. - 574 с.

МЕТОДЫ РАСТИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

7.1. Программа диагностического контроля условий минерального питания

Программа диагностического контроля включает:

- рекогносцировочное обследование участка; фенологические наблюдения;
- учет показателей визуальной диагностики (описание отклонений растений от нормы – габитуса растения и формы его органов, окраски листьев, поражения болезнями и повреждения вредителями и других изменений);
- отбор почвенных и растительных образцов; биометрический контроль за ростом и развитием растений по фазам;
- учет урожая, анализ его структуры и качества;
- химические анализы растений по фазам развития на общее содержание элементов питания и их неорганических форм;
- агрохимический анализ почв;
- составление заключения о степени обеспеченности растений питательными веществами по этапам формирования урожая;
- расчет доз удобрений с учетом показателей растительной диагностики.

Все наблюдения и результаты исследований записываются в журнал наблюдений (полевой журнал).

Снаряжение для полевых работ

- 1) почвенный бур для взятия образцов почвы;
- 2) ведро для смешивания индивидуальных почвенных проб и отбора смешанного образца почвы;
- 3) коробки или мешочки для почвенных образцов;
- 4) пакеты из плотной бумаги или полиэтиленовые для растительных образцов;
- 5) рулетка, мерная лента, деревянный циркуль (сажень) для отмеривания ключевых участков и мест взятия почвенных и растительных образцов, вешки для границ участков;
- 6) рюкзак (тара) для доставки почвенных и растительных проб в лабораторию;
- 7) журнал наблюдений и полевые ведомости взятия образцов почвы и растений.

Диагностический контроль за условиями питания растений начинают с агрохимического обследования почв, которое проводят по общепринятым методикам.

Определение недостатка или избытка элементов питания в растениях по внешним признакам недостаточно, так как признаки голодания растения нередко бывают сходны с признаками отравления минеральными веществами. Симптомы недостатка разных элементов очень сходны. Например, недостаток азота, серы и фосфора характеризуется одинаковыми признаками: общим пожелтением листьев, отмиранием прироста. В таких случаях для правильного диагноза необходим еще анализ листьев, потому что при недостатке серы листья содержат много азота, а при недостатке азота в них много серы. Аналогичная зависимость существует между азотом и фосфором. Если пожелтение и отмирание побегов происходят вследствие недостатка азота, в листьях бывает много фосфора и мало азота. Наоборот, если ухудшение роста вызвано недостатком фосфора, то в листьях накапливается много азота и мало фосфора.

Обесцвечивание (хлороз) листьев или же мелколистье может быть вызвано не только нарушением минерального питания растений, но и некоторыми вирусными болезнями,

повреждением корней или же низкой температурой субстрата и питательного раствора. Анализ листьев в подобных случаях позволяет точно установить причину хлороза.

Химический анализ растений для диагностики условий минерального питания основывается главным образом на том, что между выносом питательных элементов растениями и их урожайностью существует тесная связь. Высокий урожай возделываемых культур получают только при оптимальной концентрации клеточного сока растений. Казалось бы, что использование результатов химического анализа листьев — простая задача, заключающаяся в сравнении данных анализа с полученными ранее стандартными показателями. Однако оценка результатов этого анализа значительно усложняется тем, что на химический состав растений, кроме содержания питательных элементов в питательной смеси, влияют многочисленные факторы, в частности вид культуры, онтогенетический и филогенетический возрасты растений, а также условия внешней среды.

Факторы внешней среды в ряде случаев оказывают сильное влияние на питание растений некоторыми элементами. Так, при пониженной температуре субстрата (10— 12°C) резко ослабляется поступление в растения азота, магния и особенно фосфора. Повреждение корней, а также антагонизм отдельных анионов и катионов в растворе могут понизить поглотительную способность корневой системы. Кроме того, наличие в субстрате карбонатных включений приводит к осаждению фосфатов. При изменении pH питательного раствора в сторону щелочной реакции могут наблюдаться признаки недостатка железа, так как при высоких значениях pH оно выпадает в осадок. Все это приводит к нарушению нормального поглощения элементов питания даже в том случае, если раствор имеет оптимальный состав.

Метод химического анализа листьев приобрел особое значение при беспочвенной культуре, где можно легко контролировать и корректировать питание растений. Химический анализ листьев отражает сложный процесс питания и характеризует степень обеспеченности растений тем или иным элементом питания в конкретных условиях.

Установление критического уровня питания растений строится на основе опытов и представляет определенные трудности. Наиболее сложно установить оптимальную концентрацию неорганических форм питательных элементов в тканях растений в различные периоды роста и развития, тем более, что нормальный состав питательных элементов в растениях, как указывает К. Магницкий (1964), колеблется в значительных пределах. Не всегда высокому урожаю соответствует повышенное содержание элементов питания.

Повышенное содержание какого-либо элемента в листьях или черешках может быть обусловлено не потребностью в нем растений, а избыточным количеством его в питательном растворе, и наоборот, несколько пониженное содержание того или иного элемента может быть следствием сильного роста растения и интенсивного использования данного элемента для переработки ею в органические формы. Поэтому путем исследований важно установить минимальную концентрацию питательных веществ в растениях по периодам роста, которая обеспечивала бы получение высокого урожая возделываемых культур.

Обобщение результатов многочисленных анализов растений, проведенных в условиях беспочвенной культуры, позволило установить примерные концентрации питательных элементов в тканях томата и огурца по периодам роста.

При химическом анализе тканей растений определяют валовое содержание элементов минерального питания или содержание неорганических их соединений.

Для определения содержания калия метод анализа не имеет значения, так как он находится в растении в виде ионов или непрочно связан с органическими веществами, в связи с чем результаты анализа валового его содержания и неорганических форм одинаковые.

Неорганические формы азота и фосфора составляют небольшую часть общего количества их в растениях. При валовом определении этих элементов количественное различие их в

листьях растений, хорошо и плохо обеспеченных питанием, бывает очень незначительным, тогда как различие в содержании неорганических соединений этих элементов бывает очень большим и более точно отображает характер питания растений в исследуемый период.

Для диагностики минерального питания тепличных культур первостепенное значение имеет выбор органа или части растения для анализа. При определении содержания нитратного азота, калия и натрия более четкие результаты дает анализ черешков листьев, неорганического фосфора, кальция и магния — анализ листовых пластинок.

У томата и огурца нитратным азотом богаты черешки листьев и стебли. В них содержание этого элемента в 2—3 раза выше, чем в их пластинках. В этих культурах наблюдается закономерность в содержании нитратного азота по ярусам растения: в листьях нижнего яруса его больше, чем в листьях верхнего. Наиболее резкие различия в содержании нитратов у растений при разном уровне их питания наблюдаются в черешках листьев нижнего яруса.

Неорганического фосфора больше всего в пластинках листьев. По ярусам растений он распределен сравнительно равномерно. Различие в содержании фосфора у этих культур при неодинаковом обеспечении их питательными веществами резче проявляется в пластинках листьев нижнего яруса.

Калием богаты черешки листьев среднего и верхнего ярусов. При недостаточном обеспечении растений калием этот элемент перемещается из нижних листьев в верхние и в точки роста. Различия в содержании калия у растений при разном уровне их питания более четко выражены в черешках листьев нижнего яруса.

Кальция в пластинках листьев огурца и томата содержится примерно в три раза больше, чем в черешках и жилках листьев. Этим элементом богаты листья нижнего яруса.

Магния больше всего имеется в листовых пластинках. При недостаточном содержании он перемещается из нижних листьев в верхние и к точкам роста. Обеспеченность растений этим элементом четче выражена в пластинках листьев нижнего и среднего ярусов.

Таким образом, на основе результатов исследований можно сделать вывод, что определение потребности огурца в азоте, фосфоре, калии, магнии и кальции следует проводить по черешкам и листовым пластинкам листьев нижнего яруса, закончивших рост, но физиологически активных, т. е. таких, в которых содержание питательных веществ "не разбавляется" приростом их массы. У томата для анализа следует брать листья, закончившие рост до бутонизации, т. е. второй-третий, а во время цветения и позже — третий-четвертый лист снизу.

Отбирать листья для анализа необходимо очень тщательно, так как химический состав их зависит от времени отбора, внешних условий, положения листьев на растении, их возраста.

7.2. Визуальные признаки нарушения питания

Функции каждого макро- и микроэлемента в растениях строго специфичны, ни один элемент не может быть заменен другим. Недостаток любого макро- или микроэлемента приводит к нарушению обмена веществ и физиологических процессов у растений, ухудшению их роста и развития, снижению урожая и его качества. При остром дефиците элементов питания у растений появляются характерные признаки голодания.

Азот. Входит в состав белков, ферментов, нуклеиновых кислот, хлорофилла, витаминов, алкалоидов.

Уровень азотного питания определяет размеры и интенсивность синтеза белка и других азотистых органических соединений в растениях и, следовательно, ростовые процессы. Недостаток азота особенно резко сказывается на росте вегетативных органов. Характерным *признаком азотного голодания* является торможение роста вегетативных органов растений и появление бледно-зеленой или даже желто-зеленой окраски листьев из-за нарушения

образования хлорофилла. Азот повторно используется (реутилизируется) в растениях, поэтому признаки его недостатка проявляются сначала у нижних листьев. Пожелтение начинается с жилок листа и распространяется к краям листовой пластинки. При остром и длительном азотном голодании бледно-зеленая окраска листьев растений переходит в различные тона желтого, оранжевого и красного цвета (в зависимости от вида растений), затем пораженные листья высыхают и преждевременно отмирают.

При *нормальном снабжении азотом* листья темно-зеленые, растения хорошо кустятся, формируют мощный ассимиляционный стебле-листовой аппарат, а затем полноценные репродуктивные органы. *Избыточное*, особенно одностороннее, снабжение растений азотом может вызвать замедление их развития (созревания) и ухудшить структуру урожая. Растения образуют большую вегетативную массу в ущерб товарной части урожая. У корне- и клубнеплодов избыток азота может привести к израстанию ботвы, а у зерновых и льна — к полеганию посевов.

Фосфор. Играет исключительно важную роль в процессах обмена энергии в растительных организмах. При недостатке фосфора нарушается обмен энергии и веществ в растениях.

Особенно резко дефицит фосфора сказывается у всех растений на образовании репродуктивных органов. Его недостаток тормозит развитие и задерживает созревание, вызывает снижение урожая и ухудшение качества продукции. Растения при недостатке фосфора резко замедляют рост, листья их приобретают (сначала с краев, а затем по всей поверхности) серо-зеленую, пурпурную или красно-фиолетовую окраску. У зерновых злаков дефицит фосфора снижает кущение и образование плодородных стеблей. Признаки *фосфорного голодания* обычно проявляются уже на начальных стадиях развития растений, когда они имеют слаборазвитую корневую систему и не способны усваивать труднорастворимые фосфаты почвы.

Усиленное снабжение растений фосфором ускоряет их развитие и позволяет получать более ранний урожай, одновременно улучшается качество продукции.

Калий. Участвует в процессах синтеза и оттока углеводов в растениях, обуславливает водоудерживающую способность клеток и тканей, влияет на устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды и поражаемость культур болезнями.

Внешние признаки калийного голодания проявляются в побурении краев листовых пластинок — «краевом запале». Края и кончики листьев приобретают «обоженный» вид, на пластинках появляются мелкие ржавые крапинки. При недостатке калия клетки растут неравномерно, что вызывает гофрированность, куполообразное закручивание листьев. У картофеля на листьях появляется также характерный бронзовый налет.

Особенно часто недостаток калия проявляется при возделывании более требовательных к этому элементу картофеля, корнеплодов, капусты, силосных культур и многолетних трав. Зерновые злаки менее чувствительны к недостатку калия. Но и они при остром дефиците калия плохо кустятся, междоузлия стеблей укорачиваются, а листья, особенно нижние, увядают даже при достаточном количестве влаги в почве.

Кальций. Играет важную роль в фотосинтезе и передвижении углеводов, в процессах усвоения азота растениями. Он участвует в формировании клеточных оболочек, обуславливает обводненность и поддержание структуры клеточных органелл.

Недостаток кальция сказывается, прежде всего, на состоянии корневой системы растений: рост корней замедляется, не образуются корневые волоски, корни осливаются и гниют. При дефиците кальция тормозится также рост листьев, у них появляется хлоротичная пятнистость, затем они желтеют и преждевременно отмирают. Кальций в отличие от азота, фосфора, калия не может повторно использоваться (реутилизироваться), поэтому признаки кальциевого голодания проявляются, прежде всего, на молодых листьях.

Магний. Входит в состав хлорофилла, участвует в передвижении фосфора в растениях и углеводном обмене, влияет на активность окислительно-восстановительных процессов. Магний входит также в состав основного фосфорсодержащего запасного органического соединения — фитина.

При недостатке магния снижается содержание хлорофилла в зеленых частях растений и развивается хлороз между жилками листа (жилки остаются зелеными). Острый дефицит магния вызывает «мраморовидность» листьев, их скручивание и пожелтение.

Сера. Имеет важное значение в жизни растений. Основное количество ее в растениях находится в составе белков (сера входит в состав аминокислот цистеина, цистина и метионина) и других органических соединений — ферментов, витаминов, горчичных и чесночных масел. Сера принимает участие в азотном, углеводном обмене растений и процессе дыхания, синтезе жиров. Больше серы содержат растения из семейства бобовых и крестоцветных, а также картофель.

При недостатке серы образуются мелкие, со светлой желтоватой окраской листья на вытянутых стеблях, ухудшаются рост и развитие растений.

Железо. Входит в состав окислительно-восстановительных ферментов растений и участвует в синтезе хлорофилла, процессах дыхания и обмена веществ.

При недостатке железа (что обычно проявляется только на карбонатных или переувлажненных почвах) вследствие нарушения образования хлорофилла у сельскохозяйственных культур, особенно винограда и плодовых деревьев, развивается хлороз. Листья теряют зеленую окраску, затем белеют и преждевременно опадают.

Бор. Оказывает большое влияние на углеводный, белковый и нуклеиновый обмен, ряд других биохимических процессов в растениях. При его недостатке нарушаются синтез и особенно передвижение углеводов, формирование репродуктивных органов, оплодотворение и плодоношение. Бор не может реутилизироваться в растениях, поэтому при его недостатке страдают, прежде всего, молодые растущие органы, происходит отмирание точек роста. Более требовательны к бору и чувствительны к его недостатку корнеплоды, подсолнечник, бобовые, лен, картофель и овощные растения. Дефицит бора вызывает поражение сердцевинной гнилью корнеплодов, появление дуплистости корней. У подсолнечника острый дефицит бора вызывает полное отмирание точки роста либо при более позднем проявлении недостатка бора наблюдается ненормальное развитие цветков, пустоцвет и снижение урожая семян. При борном голодании бобовых нарушается развитие клубеньков на корнях и снижается симбиотическая фиксация молекулярного азота из атмосферы, замедляются рост и формирование репродуктивных органов. Картофель при недостатке бора поражается паршой, у плодовых деревьев появляется суховершинность, развиваются наружная пятнистость и опробкование тканей плодов.

Молибден. Молибдену принадлежит исключительная роль в азотном питании растений. Он участвует в процессах фиксации молекулярного азота (бобовыми в симбиозе с клубеньковыми бактериями и свободноживущими почвенными азотфиксирующими микроорганизмами) и восстановлении нитратов в растениях. Особенно требовательны к наличию молибдена в почве в доступной форме бобовые культуры и овощные растения — капуста, листовые овощи, редис. Внешние признаки недостатка молибдена сходны с признаками азотного голодания — резко тормозится рост растений, вследствие нарушения синтеза хлорофилла они приобретают бледно-зеленую окраску. Дефицит молибдена ограничивает развитие клубеньков на корнях бобовых, резко тормозит рост растений, они приобретают бледно-зеленую окраску, наблюдаются деформация листовых пластинок и преждевременное отмирание листьев, резко снижается урожай и содержание белка в растениях. Недостаток молибдена при больших дозах азота может приводить к накоплению в

растениях, особенно овощных и кормовых, повышенных количеств нитратов, токсичных для животных и человека.

Марганец. Входит в состав окислительно-восстановительных ферментов, участвующих в процессах дыхания, фотосинтеза, углеводного и азотного обмена растений. Он играет важную роль в усвоении нитратного и аммонийного азота растениями. Наиболее чувствительны к недостатку марганца и требовательны к его наличию в доступной форме в почве свекла и другие корнеплоды, картофель, злаковые, а также яблоня, черешня и малина.

Самый характерный симптом марганцевого голодания — точечный хлороз листьев. На листовых пластинках между жилками появляются мелкие желтые хлоротичные пятна, затем пораженные участки отмирают.

Медь. Также входит в состав целого ряда окислительно-восстановительных ферментов и принимает участие в процессах фотосинтеза, углеводного и белкового обмена. Недостаток доступной растениям меди на осушенных торфянисто-болотных почвах с нейтральной или щелочной реакцией вызывает «болезнь обработки», или «белую чуму», у зерновых культур. Заболевание начинается с внезапного побеления и засыхания кончиков листьев. Пораженные растения совсем или частично не образуют колосьев или метелок, а образующиеся соцветия бесплодны либо слабо озернены. При недостатке меди резко снижается урожай зерна, а при остром медном голодании наблюдается полное отсутствие плодоношения.

Цинк. Оказывает многостороннее действие на обмен энергии и веществ в растениях, что обусловлено его участием в составе ряда ферментов и в синтезе ростовых веществ — ауксинов. При недостатке цинка резко тормозится рост растений, нарушается фотосинтез, процессы фосфорилирования, синтез углеводов и белков, обмен фенольных соединений.

Специфические признаки цинкового голодания — задержка роста междоузлий, появление хлороза и мелколиственности, развитие розеточности. От недостатка цинка чаще всего страдают плодовые и цитрусовые культуры на нейтральных и слабощелочных карбонатных почвах с высоким содержанием фосфора.

При заболевании «розеточностью» от дефицита цинка на концах молодых побегов образуются мелкие листья, располагающиеся в форме розетки. При сильном поражении ветви отмирают, что приводит к появлению «суховершинности».

Хлор. Необходим растениям в небольшом количестве, он совместно со щелочными и щелочноземельными ионами положительно влияет на обводненность тканей и набухаемость протоплазмы клеток. Этот элемент активизирует ферменты, осуществляющие реакции фотоллиза при фотосинтезе, однако только у отдельных видов растений потребность в этом элементе высока. Различные растения по-разному отзываются на концентрацию хлора в почвенном растворе — на практике больше приходится сталкиваться с избытком хлора, особенно в засушливых условиях. Положительно относятся к хлору такие культуры, как редис, шпинат, мангольд, сельдерей, сахарная свекла. К хлорофобным растениям, отрицательно реагирующим на повышенное содержание хлора в почве, относятся: табак, виноград, тыква, фасоль, картофель, томаты, плодовые и ягодные культуры.

Признаком дефицита хлора, наблюдающегося крайне редко, является хлороз листьев.

Натрий. Относится к элементам, которые условно необходимы растениям. В химическом и физиологическом отношении натрий близок к калию. Калий может практически всегда заменить натрий, однако сам натрием не заменяется. Имеется ряд ферментов, которые активируются натрием, но значительно в меньшей мере, чем калием. Одни растения могут усваивать значительные количества натрия, другие обладают весьма малой способностью к его поглощению. Кроме того, у натриефобных растений поступление натрия из корня в надземные органы ограничено (например, у бобов). Шпинат, томат — относят к натриефилам, они положительно отзываются на натрий, особенно когда недостаточно обеспечены калием. У натриефильных растений натрий улучшает водный баланс.

Кремний. Относится к элементам, которые условно необходимы растениям. Он откладывается в клетках в аморфной форме (в виде опала) и связывается в растительном организме в силикатгалактозный комплекс и таким образом влияет на обмен веществ, укрепляет стенки клеток, нормализует поступление и распределение в растении марганца, устраняя его токсическое действие при избыточном содержании.

У некоторых культур под действием кремния происходит усиленный рост, у других повышается устойчивость к мучнистой росе. В сельском хозяйстве практическое применение кремний находит при выращивании риса, где при недостатке кремния урожайность зерна может снижаться на 50%.

Титан. Входит в состав ферментов, которые активизируют метаболические процессы в растении в период его роста и развития, интенсифицируют фотосинтез и впитывание питательных веществ из почвы. Главное значение титана в жизни растений — стимуляция процесса опыления, оплодотворения и завязи плодов, ускорение их роста, и как следствие — начала уборки урожая. Укрепляет иммунную систему растений — повышается устойчивость к грибковым и бактериальным заболеваниям.

Кобальт. Микроэлемент, необходимый для биологической фиксации молекулярного азота и являющийся компонентом витамина В₁₂. Недостаток кобальта (внешние признаки сходны с симптомами азотного голодания) может проявляться, прежде всего, у бобовых культур. При низком содержании кобальта в кормах у животных развивается анемия, резко снижается аппетит и падает продуктивность.

Недостаток или избыток других микроэлементов также приводит к заболеванию людей и животных. Например, низкое содержание **йода** в почвах, а, следовательно, растительной пище и кормах вызывает воспаление щитовидной железы, недостаток марганца — появление бесплодия, меди — малокровия и заболевания рахитом, избыток молибдена — желудочных расстройств и т.д. Необходимость регулирования питания растений в отношении отдельных элементов в агрономической практике далеко не одинакова. Микроэлементы нужны растениям в ограниченных количествах. Вынос этих элементов с урожаем сельскохозяйственных культур составляет лишь десятки или сотни граммов на 1 га, и потребность во многих из них может полностью удовлетворяться за счет почвы и применяемых органических удобрений, а нередко только за счет запасов в семенах. Однако недостаток отдельных микроэлементов у более требовательных к их наличию культур может проявляться на почвах с низким содержанием доступных для растений форм микроэлементов. Применение микроэлементов в виде соответствующих микроудобрений может в этом случае значительно повысить урожай сельскохозяйственных культур и улучшить качество получаемой продукции. Такие макроэлементы, как кальций, магний и сера, обычно содержатся в большинстве почв в количествах, достаточных для обеспечения растений. Кроме того, они вносятся в почву с мелиорирующими материалами (известью и гипсом), а также в составе применяемых органических и минеральных удобрений. Для улучшения питания сельскохозяйственных культур в полевых условиях чаще всего необходимо внесение азота, фосфора и калия.

Вопросы для самоконтроля

7. Назовите функции воды в растениях.
8. Какую роль играют белки в организме?
9. Чем представлены углеводы в растениях?
10. Назовите основные макро- и микроэлементы, необходимые растениям.
11. Перечислите признаки азотного, фосфорного и калийного голодания растения.
12. Какие требования к условиям питания предъявляют растения в разные периоды роста?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

4. Агрохимия. Под ред. В.Г. Минеева – М.: 2004. – 639 с.
5. Агрохимия. Под ред. Б.А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
6. 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.

Дополнительная

4. Минеев В.Г. В защиту нитратов и фосфатов.
5. Агрохимия / Б.А. Ягодин и др : учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
6. Система удобрений: В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко: учебник / В.Н. Ефимов. - М.: КолосС, 2003.

ОПТИМИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ С/Х КУЛЬТУР НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

8.1. Растительная диагностика обеспеченности сельскохозяйственных культур элементами питания

Для разработки современных научно обоснованных систем удобрения сельскохозяйственных культур необходим учёт как внутренних, так и внешних факторов окружающей среды.

Среди множества факторов внешней и внутренней среды, влияющих на рост и развитие растений, минеральное питание является наиболее доступным для регулирования. Однако, только по данным почвенной диагностики, нельзя оптимизировать потребность растений в тех или иных элементах питания. Элемент может не поступать в растение вследствие целого комплекса причин. Это и проявление антагонизма ионов в питательном растворе, изменения погодных условий, свойств почвы, а также генетических особенностей отдельных сортов и гибридов сельскохозяйственных культур и их требовательности к минеральному питанию.

Оптимальное питание растений достигается при комплексном, сбалансированном сочетании всех сопутствующих факторов роста и развития растений. Любое отклонение от нормы в ту или другую сторону накладывает свое отрицательное влияние на конечный результат.

В руках агронома должны находиться инструменты контроля и инструменты нормализации биохимических процессов, инструменты скорой помощи растениям, коррекции минерального питания и стимуляции процессов фотосинтеза.

Инструменты диагностики и инструменты своевременной корректировки режима питания должны работать в единстве, наличие одного без другого теряет смысл.

Для оценки факторов, лимитирующих урожай, используются различные способы диагностики. Однако, каждый взятый в отдельности способ не дает полноты представления о комплексной обеспеченности минеральным питанием. По данным почвенной диагностики нельзя однозначно сказать, что определенный элемент находится в почве в недостатке. Элемент может не поступать в растение по ряду причин, это и его насыщенность в почвенном растворе при неблагоприятном соотношении ионов, нарушение процессов питания под влиянием внешних погодных факторов, свойств почвы и т.д. Оптимальное содержание элементов в почве и, как следствие, оптимальное питание в многофакторном процессе биосинтеза не есть категории прямозависимые и программируемые на весь период вегетации.

Использование только традиционных методов агрохимического анализа почв не дает возможности скорректировать питательный режим в зависимости от фазы развития растений, вида и сорта растений, влажности и температуры почвы и воздуха, интенсивности освещения и изменения ряда других факторов внешней среды.

Одним из перспективных направлений оценки потребности растений в элементах питания является анализ листьев растений, то есть растительная диагностика. Растительная диагностика, в свою очередь, подразделяется на визуальную, химическую и функциональную. Визуальная диагностика является наиболее простым методом, не требующим специального оборудования. Однако для успешного выполнения визуальной диагностики необходим большой практический опыт. Кроме того, часто внешние признаки нарушения питания растений проявляются поздно, как следствие необратимых процессов и

будущих потерь урожая и качества продукции.

Химическая диагностика минерального питания позволяет определить химический состав растений в данный момент. Однако, иногда элемент питания накапливается в растении не вследствие его необходимости для развития. Этот фактор ограничивает возможность и объективность метода химической диагностики.

Резкое падение применения минеральных удобрений, вызванное диспаритетом цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию, многократно усиливает значение их эффективного использования.

Нынешнее состояние сельской экономики обуславливает более жесткие требования к грамотному, рациональному применению удобрений. Значение диагностических методов контроля за минеральным питанием растений не только не снизилось, а еще более возрастает, так как наряду с обеспечением элементами питания растений на первый план выдвинулась задача рентабельного использования удобрений при постоянно меняющемся соотношении цен между ними и сельскохозяйственной продукцией.

Удобрения должны применяться в строгом соответствии с диагностическими показателями обеспеченности растений элементами питания, в соответствии с прогнозами погоды, появления вредителей, болезней и сорняков, возможного полегания посевов. Учёт всех этих показателей и обеспечит научно обоснованное их применение, позволит отказаться от внесения необоснованно высоких доз удобрений, в первую очередь азотных.

Практически реализовать эти требования можно лишь на основе грамотного использования методов диагностического контроля минерального питания сельскохозяйственных культур, обеспечивающих нормативную окупаемость элементов питания урожаем, повышение качества продукции и предотвращение загрязнения окружающей среды.

Использование методов почвенно-растительной диагностики влечет за собой существенные изменения в технологии применения удобрений. Меняются дозы, сроки, способы и кратность внесения удобрений, предъявляются более высокие требования к качеству и точности внесения.

8.2. Растительная диагностика обеспеченности культур элементами питания

Получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур хорошего качества является важнейшим звеном эффективного ведения сельскохозяйственного производства. Большое значение в повышении урожайности имеет правильное применение удобрений.

В целях оптимизации минерального питания растений наряду с учетом почвенных факторов необходимо изучать и максимально удовлетворять потребности сельскохозяйственных культур в элементах питания по этапам формирования урожая. Эта задача успешно решается путем комплексного применения методов растительной диагностики. При помощи визуальной, тканевой и листовой диагностики можно определять оптимальные сроки внесения и дозы удобрений, целесообразность проведения подкормок для формирования запланированного урожая высокого качества при разных почвенных условиях в соответствии с требованиями растений по этапам развития.

По анализу самих растений можно оценить действительную доступность разным видам и сортам растений питательных веществ почвы и удобрений. При анализе растений вскрывается взаимодействие элементов питания при их поступлении и превращении в растениях, определяется потребность в питательных веществах различных видов и сортов растений по периодам формирования урожая. По химическому составу нормально развитых, высокоурожайных растений устанавливают оптимальное количество и качественное

соотношение элементов питания в растениях по фазам развития. Растительная диагностика как один из методов современной агрохимии рекомендуется для установления степени обеспеченности посевов питательными веществами в период вегетации в целях совершенствования системы применения удобрений, прогнозирования величины урожая и его качества.

Растительная диагностика дополняет почвенную. Для составления полного правильного заключения об условиях питания растений необходимо учитывать такие важные для развития сельскохозяйственных культур свойства почвы, как кислотность почвенного раствора, емкость поглощения, степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями, содержание гумуса и другие свойства, которые можно определить, лишь проведя анализ почв.

Сравнение показателей почвенной и растительной диагностики между собой и с показателями величины и качества урожая является научной основой для создания оптимальных условий минерального питания с.-х. культур в разных районах страны.

8.3. Подготовка к проведению полевых работ

Перед проведением полевых исследований по диагностике питания растений необходимо подробно изучить методы растительной диагностики, тщательно ознакомиться с историей полей, на которых будет проводиться работа, учесть материалы ранее проведенных почвенного и агрохимического обследований, уровень урожая в хозяйстве в разные годы, результаты полевых опытов с удобрениями, данные растительной диагностики, рекомендации научных учреждений по внесению удобрений применительно к условиям местоположения данного хозяйства, метеорологические особенности района. Необходимо иметь почвенную карту хозяйства желательно в масштабе 1:2000 или 1:5000 (можно 1:10000).

8.4. Методы растительной диагностики питания растений

Методы растительной диагностики базируются на одновременном учёте ряда показателей состояния растений по фазам роста и развития.

Растительная диагностика включает в себя:

- 1) учёт визуальных признаков нарушения питания;
- 2) инъекцию и опрыскивания растений растворами солей отдельных испытуемых элементов;
- 3) химическую диагностику;
- 4) учёт состояния растений, их приростов по фазам развития, величины урожая, его структуры и качества.

На основе многочисленных исследований выработаны следующие правила растительной диагностики:

1) при отборе проб необходимо одновременно учитывать состояние растений: общее развитие, общую и продуктивную кустистость, размер всего растения и отдельных органов, число листьев, соцветий и т. д., а также сроки их образования;

2) при химической диагностике одновременно определять не менее трех главных элементов (N, P, K), учитывая их взаимодействия при поступлении в растения; например: анализ показал повышенное содержание азота в растении, но оно может быть и при низком содержании фосфора.

3) делая выводы об обеспеченности растений элементами питания и потребностях в удобрениях, необходимо принимать во внимание величину заданного урожая, биологические

особенности сельскохозяйственных культур, погодные условия, агротехнику, данные о свойствах почвы, химическом составе растений и другие сведения.

Визуальные признаки нарушения питания

Когда почва очень бедна одним или многими основными питательными веществами растений, культуры, выращиваемые на поле, часто сами показывают, чего им недостает, по признакам голодания на их листьях или по характеру роста. Когда появляются такие признаки, они свидетельствуют о таком серьезном недостатке, что урожай данной культуры будет снижен. Обычно, если недостаток азота обнаружен на ранних стадиях роста, его можно устранить внесением удобрений, поскольку азот вымывается в почву дождями. Если появляются признаки недостатка калия или фосфора, будет, вероятно, слишком поздно пытаться получить полный урожай внесением фосфорных или калийных удобрений, так как они могут быть полезны только тогда, когда их перемешивают с почвой, окружающей корни растений.

Острый недостаток или вредный избыток элементов питания вызывает нарушение обмена веществ в клетках растений и последующее изменение их внешнего вида вследствие разрушения тканей. Каждый элемент вызывает вполне определенные изменения, как в течение биохимических процессов, так и во внешнем облике растений.

Распознавание признаков недостатка или токсического избытка элементов питания по внешнему виду растений — сущность визуальной диагностики.

Некоторые элементы, такие, как азот, фосфор, калий и магний, растения способны использовать повторно (реутилизировать), поэтому их недостаток сопровождается появлением симптома недостаточности в первую очередь на нижних, более старых листьях и в нижних ярусах растений. Кальций, сера, хлор и почти все микроэлементы трудно реутилизуются в растениях, при их недостатке в корнеобитаемом слое эти элементы остаются в органах, образовавшихся на растении в начале роста, а вновь развивающиеся верхние молодые листья, и особенно точки роста, страдают от их недостатка.

Рекогносцировочный осмотр посева позволяет определить, к какой из этих двух групп относится недостающий элемент. Это важно и потому, что внешние признаки могут быть очень близкими; однако, если они обнаружены на нижних листьях, то недостает элемента из первой группы, и, наоборот, при повреждении верхних листьев нарушено питание каким-либо элементом из второй группы.

Краткое описание внешних признаков недостатка макроэлементов у зерновых культур.

Азот. Недостаток элемента сказывается на размере и окраске нижних листьев. В них уменьшается содержание хлорофилла, они становятся светло-зелеными, потом, начиная с кончиков, желтеют, буреют, отмирают и опадают. Листья мелкие, узкие, суховатые, расположены под острым углом к стеблю. Рост растений замедляется. Стебель становится тонким и жестким. Кущение слабое. Форма соцветия изменяется: колосья усечены сверху, метелки — снизу. Созревание ускоренное. Число зерен значительно уменьшается.

Фосфор. При недостатке этого элемента растения обычно отстают в росте, при достаточной обеспеченности азотом имеют темно-зеленую окраску, часто с красно-фиолетовым оттенком. Листья с желто-бурыми, затем темно-бурыми пятнами по краям. Стебель грубый, деревянистый. Число зерен уменьшено. Цветение и созревание задерживаются.

Калий. При недостатке калия приостанавливается рост междоузлий, сокращается расстояние между листьями. Нижние листья кажутся непропорционально крупными. Край листьев сначала желтеют, затем буреют и засыхают, появляются «краевые ожоги» — характерный признак калийной недостаточности. Позже заболевание распространяется

между жилками, листья становятся морщинистыми. Иногда желтеют и жилки. При сильном калийном голодании стебли полегают, развитие цветков задерживается.

Признаки калийного голодания сходны с признаками азотного. Но при недостатке азота пожелтение начинается с нижних листьев, распространяется от верхушки и от центральной жилки листа. При недостатке калия, наоборот, в первую очередь поражаются края листьев («краевой ожог»), а в центре листа сохраняется зеленый цвет.

Магний. Недостаток магния выражается в образовании на нижних листьях межжилкового хлороза, в появлении белесых полос между жилками. Затем эти полосы становятся коричневыми и ткани отмирают. Повреждение начинается с верхних частей листьев. Листья хрупкие. На кислых почвах вследствие вымывания магния потребность в нем обостряется. Применение высоких доз калийных удобрений усиливает потребность в магнии, особенно на легких почвах.

Кальций. Недостаток кальция наблюдается на кислых почвах. В отличие от азота, фосфора, калия и магния недостаток кальция сказывается на верхушке растений. Старые листья могут быть зелеными, а молодые — хлоротичными. При остром кальциевом голодании отмирают точки роста. Часто повреждаются корни: прекращается рост, на их концах образуются вздутия.

На переизвесткованных или сильно карбонатных почвах возможен избыток кальция, но он сопряжен с относительным недостатком других элементов, в равновесии с которыми он должен находиться (К, Mg, В, Mn и др.). Поэтому следует увеличить дозы этих элементов, снизив тем самым отрицательный эффект избытка кальция.

Сера. Недостаток серы проявляется в редких случаях, так как сера вносится с суперфосфатом и другими удобрениями. Растения используют серу из атмосферы, особенно в районах, расположенных вблизи промышленных предприятий, работающих на угле. В районах, удаленных от таких пунктов, серы с осадками поступает мало. Если еще учесть, что простые удобрения сейчас заменяются сложными, не содержащими серы, а промышленные предприятия переходят на другие виды топлива, не содержащие серу, то в будущем может возникнуть проявление недостатка этого элемента.

При недостатке серы появляется светло-зеленая окраска верхних листьев, напоминающая симптомы недостатка азота (но не на нижних старых листьях, как при недостатке азота, а на верхних). Стебли становятся грубыми, деревянистыми. Рост растений затормаживается, корни развиваются медленно. На листьях могут появиться пятна отмершей ткани. В засушливый период недостаток серы может обостриться.

Часто растения страдают от недостатка сразу нескольких элементов питания. В таких случаях признаки недостатка одного из них сочетаются с симптомами недостаточности другого. Например, при одновременном недостатке азота и калия листья светло-зеленые (признак недостатка азота), участки ткани между жилками становятся выпуклыми, листья морщинистые, с побуревшими краями (признак калийного голодания). Растения недоразвиты.

При недостатке азота и фосфора листья светло-зеленые, растут под острым углом к стеблю. Стебли грубые, листья жесткие. Растения плохо растут и развиваются.

При недостатке фосфора и калия растения имеют обычную окраску и форму, но замедленный рост. При сильном и длительном недостатке обоих элементов появляется антоциановая окраска нижних частей стеблей и листьев.

При недостатке трех основных элементов питания: азота, фосфора и калия внешние признаки недостатка скрыты. Развиваются мелкие растения с уменьшенным числом зерен, но без особых внешних изменений цвета листьев, появления на них пятен и полос. По-видимому, устанавливается некоторое равновесие между элементами, а поскольку концентрации их в тканях растений малы, то и сами растения невелики.

Внешние изменения растений могут происходить и под влиянием других причин: недостаток и избыток влаги, низкая температура, болезни, вредители, град и др. Поэтому необходимо знать и уметь отличать изменения внешнего вида растений, вызываемые этими причинами, от признаков недостатка того или иного элемента питания. Для этого определяют признаки голодания сразу во время осмотра растений.

Недостаток того или иного элемента в растениях связан с бедностью почвы, поэтому на плане посева отмечают участки с поврежденными растениями, чтобы внесением соответствующего удобрения устранить различия в плодородии почвы.

Определение недостатка различных элементов в почве по внешним признакам растений — простой и доступный способ определения потребности растений в удобрениях. Однако визуальные признаки недостатков того или иного элемента проявляются лишь при резком изменении условий минерального питания, при длительном голодании растений, когда нарушение питания вызвало глубокие, иногда даже необратимые изменения в тканях растений.

Определить потребность с.-х. культур в минеральных элементах *до проявления внешних признаков нарушения питания* можно методами химической диагностики, методами инъекции и опрыскивания.

Методы инъекции и опрыскивания

В тех случаях, когда внешние признаки недостатка 2–3-х элементов питания сходны между собой или обнаружен новый неизвестный тип голодания проводят дополнительную проверку. Для этой цели могут быть использованы методы инъекции и опрыскивания. Эти методы по существу являются микрополевыми опытами с удобрениями, так как их проводят непосредственно в поле на частях посева. Объектам изучения могут быть небольшие участки, отдельные растения и даже листья. Повторность – не менее десятикратной. Суть определения заключается в том, что слабый раствор какого-либо одного элемента, недостаток которого подозревают, вводят в растение путем инъекции в стебель (или в жилку листа) или путем опрыскивания части посева соответствующим раствором. Обработав растворами разных элементов небольшие делянки, отдельные растения или их части, можно через 7-15 дней выявить, в каких именно элементах нуждается растение, в какой части посева такая нуждаемость острее.

Метод позволяет быстро и достаточно просто выявить потребность в трудно диагностируемых микроэлементах. Это обусловлено тем, что элементы питания, введенные непосредственно в надземную часть, дают эффект быстрее, чем удобрения, внесенные в почву. Кроме того, гораздо труднее обнаружить изменения на всем массиве, чем на его частях, отдельных растениях или их органах.

Концентрация питательного вещества, вводимого в растение, обычно небольшая, так как даже незначительный избыток того или иного питательного элемента может привести к угнетению роста и развития растений. Ниже приведены концентрации некоторых наиболее распространенных растворов, рекомендуемых разными исследователями.

N.....	слабый (0,1%-ный) раствор мочевины
P	0,1%-ный монофосфат - NaH_2PO_4
K.....	0,5%-ный раствор KCl
CaCl_2	0,5%-ный раствор CaCl_2
MgSO_4	0,1%-ный раствор MgSO_4
FeCl_3	0,25% (по Fe)
KMnO_4	0,05% (по Mn)
H_3BO_3	0,02% (по B)

ZnSO₄0.05% (по Zn)

8.5. Химическая диагностика

При химической диагностике условий питания растений определяют содержание элемента или его соединений *в индикаторном органе* растения. Концентрация каждого элемента определяется его поступлением в ткани, активностью его использования растением на биосинтез и процессы прироста биомассы. Если прирост биомассы опережает темп поступления элемента в растение, то его концентрация уменьшается. При одинаковых скоростях этих процессов концентрация не изменяется. Если рост замедлен по каким-либо причинам, возможно повышение содержания элемента в растении. Повышенная концентрация элемента в тканях растения возможна также в случае его высокого содержания в почвенном растворе, когда при хорошем росте биомассы поступление элемента в растение опережает темп роста.

В связи с этим для правильной оценки условий питания культур методами химической диагностики не всегда достаточно ограничиваться определением концентрации элементов и их соотношения в растении. Следует учитывать и общее накопление или **вынос** элементов питания анализируемым органом или целым растением, то есть использовать данные биометрической диагностики. Кроме того, необходимо учитывать взаимодействие элементов при поступлении в растение и определять одновременно содержание в растении **не менее трех** элементов: азота, фосфора, калия.

Среди методов химической диагностики растений наиболее распространены **листовая и тканевая диагностика** в сочетании с биометрико-фенологическими данными.

Выбор метода химической диагностики зависит от цели исследования: для быстрого **ориентировочного** контроля условий питания растений на ранних фазах развития пользуются методами тканевой диагностики; для корректировки доз удобрений по результатам растительных анализов, а также при диагностировании условий питания растений в **поздние** фазы развития, когда поступающие в растения нитраты полностью восстанавливаются и по их содержанию уже нельзя контролировать азотное питание, следует пользоваться методами листовой диагностики.

Использование данных тканевой и листовой диагностики **на первых этапах развития растений** позволяет повлиять на урожай **текущего** года, а результаты анализов в более поздние фазы помогут составить представление о реально доступных растениям питательных веществах почвы и условиях питания растений, которые будут посеяны в следующем году, и, следовательно, внести коррективы в систему удобрения и приемы агротехники.

Листовая диагностика – это контроль обеспеченности растений элементами питания по валовому химическому анализу листьев (целого растения или отдельных органов растения).

Общее (валовое) содержание элемента (концентрация) в индикаторном органе и сопоставление его с состоянием растений, величиной и качеством урожая – общепринятый критерий обеспеченности растения питательными веществами. Произведение концентрации элемента на сухую массу анализированной части характеризует накопление данного элемента в том или ином органе растения. При этом, анализируя все растение целиком, можно определить накопление доступных форм питательных веществ растением по фазам развития. Анализ целого растения в период уборки дает представление о выносе питательных веществ урожаем. Это позволяет определить ряд важных показателей различия и потребности растений в элементах питания по фазам развития, использование питательных веществ различными культурами и сортами, доступность растениям питательных веществ почвы и удобрений и тем самым уточнить систему применения удобрений.

Тканевая диагностика – это контроль за условиями питания растений по содержанию

неорганических форм соединений элементов в тканях свежих растений, соке из них или вытяжке из растений. Для тканевой диагностики могут быть применены разные методы. Самыми быстрыми экспресс-методами анализов растений являются **полуколичественные** определения содержания в растениях питательных веществ по реакциям, проводимым на срезах свежих растений (по Церлинг), или в капле сока, выжатого из стебля растения (по Магницкому и Белоусову). По интенсивности цветных реакций сока растений устанавливают концентрацию в их тканях нитратного азота, неорганического фосфора и калия (по методу Церлинг и методом Белоусова), нитратов, фосфатов, калия, магния, хлора (по Магницкому).

Кроме экспресс-методов пользуются анализом вытяжек из свежеснятых или зафиксированных высушенных проб растений*. Анализ вытяжек из растений на содержание в них неорганических элементов применяют во многих странах мира. В качестве экстрагирующих веществ используют дистиллированную воду, ацетатно-буферный раствор (по Моргану) или 2 %-ный раствор уксусной кислоты.

При тканевой диагностике определяют минеральные формы питательных веществ, то есть резервы питания, еще не использованные растением на синтез органических соединений. Особенно тщательно учитывают факторы, влияющие на способность растения использовать неорганические формы элементов питания для образования сложных соединений. Известно, например, что недостаток фосфора или калия задерживает использование нитратов на синтез азотистых органических соединений, что может привести к накоплению нитратов. Следовательно, для правильной оценки результатов тканевой диагностики совершенно необходимо определять не менее трех основных элементов питания: нитраты, фосфаты и калий. Количество минеральных форм питательных веществ в растении уменьшается в засушливых условиях, а похолодание, недостаток солнечного света и другие явления, затрудняющие фотосинтез, приводят к накоплению резервов питания в тканях растений.

Основные преимущества этих методов – простота и быстрота выполнения анализа – дают возможность проводить массовые определения в полевых условиях. Существуют портативные полевые приборы, содержащие необходимые для анализа реактивы и посуду, например прибор ОП-2 (Церлинг), полевая сумка Магницкого, комплект «Диагностика» и др. Для зерновых культур, из которых трудно выдавить несколько капель сока, более пригоден прибор ОП-2 (Церлинг), где анализ выполняют на срезе стебля растения (16, 18).

* Определение фосфатов можно выполнять только в свежих пробах. В сухих образцах, фиксированных при повышенной температуре, значительно завышается содержание минерального фосфора.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое диагностика минерального питания растений? Её виды и значение в деле эффективного использования удобрений.
2. В каком виде диагностики учитываются внешние признаки недостатка питательных веществ в растениях?
3. В чём сущность тканевой и листовой диагностики?
4. Каковы возможные причины недостатка питательных веществ в растениях?
5. Сколько элементов питания необходимо определять в растениях при проведении растительной диагностики?
6. Что такое индикаторный орган растений?
7. Что такое метод инъекций и опрыскивания? Какие растворы для этого метода применяются?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрохимические методы исследования почв. — М. 1975.

2. Болдырев, Н.К. Анализ растений как метод определения потребности растений в удобрениях / Н.К. Болдырев — Омск, 1970. 125 с.

3. Болдырев, Н.К. Комплексный метод листовой диагностики условий питания, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур / Н.К. Болдырев. // Автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук. М., 1972. — 53 с.

4. Болдырев Н.К. Использование нормативных показателей в методе листовой диагностики для расчета норм удобрений на запланированный урожай пшеницы. // Агрохимия. 1983. — №2. — С.105-113.

Дополнительная

1. Волков, Е.Д. Методика проведения листовой диагностики минерального питания яровой пшеницы. / Е.Д. Волков. — Шортанды, -1970. 16 с.

2. Волков, Е. Д. Листовая диагностика минерального питания яровой пшеницы. / Е.Д. Волков — В кн.: Вопросы повышения продуктивности зерновых культур. - Иркутск, 1974. - С.21-25.

3. Горшкова М.А. Диагностика азотного питания хлебных злаков по их химическому анализу. — Агрохимия, 1970, № 5.

4. Горшкова, М.А., Логинов, Э.А. Принципы установления количества листьев озимой пшеницы в репрезентативной пробе для анализа на общее содержание питательных веществ. /М.А. Горшкова, Э.А. Логинов — Агрохимия, 1977, - № 3. С. 11-13.

5. Перечень показателей свойств почв для оценки почвенного плодородия и методы их определения. М: 1981. 48 с.

6. Церлинг, В.В. Как узнать по внешнему виду, в чем нуждается растение. / В.В. Церлинг, - М., - 1964.

7. Церлинг, В.В. Методические указания по диагностике минерального питания кормовых, овощных и полевых культур /В.В. Церлинг, М.А Горшкова. - М., - 1972.

8. Церлинг, В.В. Агрохимические основы диагностики питания сельскохозяйственных культур /В.В. Церлинг. — М., - 1978.

9. Церлинг, В.В. Методические указания по растительной диагностике зерновых культур /В.В. Церлинг, М.А. Горшкова, В.П. Толстоусов. - М., - 1980.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДОЗ УДОБРЕНИЙ НА ПЛАНИРУЕМУЮ УРОЖАЙНОСТЬ (балансовый, нормативный, метод средне рекомендуемых доз)

9.1. Расчет потребности в элементах питания на планируемую урожайность

Планируя внесение удобрений необходимо удовлетворить потребности растений в питании при сохранении плодородия почвы; обеспечить оптимальное качество продукции; не допустить непроизводительных затрат удобрений и обеспечить охрану окружающей среды.

Существует много способов расчета доз удобрений под планируемый урожай. Их можно объединить в три группы: **нормативные; балансовые, статистические.**

Нормативный метод расчета доз удобрений основан на использовании затрат удобрений на производство 1 т урожая основной продукции с учетом побочной. Дозы фосфорных и калийных удобрений определяют по формуле: $D = U_n \times H \times K$, где D – доза удобрений (азотных, фосфорных, калийных), кг/га д. в.; U_n – планируемая урожайность, т/га; H – нормативы затрат удобрений (азотных, фосфорных и калийных) на 1 т основной продукции с учетом побочной, кг/т; K – поправочный коэффициент к дозам удобрений на агрохимические свойства почвы. Нормативы затрат удобрений определены по каждой зоне на основе данных полевых опытов. Дозы удобрений корректируют с учетом содержания элементов питания в почве: азотных и фосфорных – по содержанию фосфора, калийных – по калию. При среднем содержании фосфора и калия в почве поправочный коэффициент к дозам азотных и фосфорных удобрений равен 1,0, а к калийным – 1,3. При малом содержании элементов питания в почве дозы удобрений увеличивают, а при большом – уменьшают.

Метод элементарного баланса базируется на расчете доз удобрений с учетом выноса элементов питания запланированным урожаем, эффективного плодородия почвы, коэффициентов использования питательных веществ из почвы и удобрений.

Расчет ведут по формуле: $D = (U_n \times B - П \times K_n) : K_u$, где D – доза питательных веществ (NPK) на запланированный урожай, кг/га д.в.; U_n – планируемая урожайность, ц/га; B – вынос питательных веществ (NPK) на 1 ц основной продукции с учетом побочной, кг; $П$ – запасы питательных веществ в почве, кг/га; K_n , K_u – коэффициенты использования питательных веществ соответственно из почвы и удобрений.

При совместном внесении минеральных и органических удобрений формула имеет вид: $D = (U_n \times B - П \times K_n - D_n \times C_n \times K_n) : K_u$, где D , U_n , B , $П$, K_n имеют те же значения, что и в предыдущей формуле; D_n – доза органических удобрений, т/га; C_n – содержание питательного вещества в органических удобрениях; K_n – коэффициент использования питательного вещества из навоза.

Дозу азотных удобрений в Центральном Черноземье рассчитывают по формуле: $D = (U_n \times BN - (ПН + 0,2 ПН) \times K_n) : K_u$, где BN – вынос азота на 1 ц основной продукции с учетом побочной, кг; $ПН$ – запасы минерального азота в метровом (корнеобитаемом) почве, кг/га.

Вынос питательных веществ растениями зависит от культуры, типа почвы, предшественника, метеоусловий, доз удобрений и величины урожая. Вынос фосфора и калия на единицу продукции является менее изменчивым, чем вынос азота. При расчете доз удобрений необходимо пользоваться показателями выноса NPK и коэффициентами усвоения питательных веществ из почвы и удобрений, полученными и рассчитанными в конкретных условиях. Коэффициенты использования NPK из почвы и удобрений различны для разных культур. Коэффициенты возрастают в увлажненные и уменьшаются в засушливые годы.

Запасы питательных веществ в почве определяют исходя из содержания NPK в почве,

плотности почвы и глубины расположения основной массы корней. При внесении удобрений под предшественник некоторая часть урожая формируется за счет неиспользованных в первый год удобрений. Ее надо исключить из общей потребности растений в питательных веществах.

Бобовые культуры в результате симбиоза с клубеньковыми бактериями фиксируют атмосферный азот и удовлетворяют свои потребности в нем на 40-80 % (горох – 40-50, соя – 60-75, люпин – 70-80, фасоль – 40-45, вика – 40-50, многолетние бобовые – 70-95 %), что необходимо учитывать при расчете доз азота.

Следует также учитывать поступление азота с атмосферными осадками (5-8 кг/га), за счет фиксации свободноживущими организмами (3-5 кг/га) и минерализации гумуса (20-25 кг/га).

Потери вследствие вымывания за год на эродированных почвах составляют: азота – 15-20 кг/га, фосфора – 3-5 и калия – 5-15 кг/га. Газообразные потери азота из минеральных удобрений достигают до 20 %, из органических удобрений – 10 и из почвы – 10 %.

Статистические (эмпирические) методы определения норм удобрений под планируемый урожай основываются на многолетних экспериментальных данных. На основе обобщения результатов полевых опытов устанавливают средние нормы удобрений полевых культур на основных типах почв зоны. В зависимости от содержания питательных веществ в почве рекомендованные дозы удобрений корректируют по формуле: $N_o = N_p \times K$, где N_o – оптимальная доза, кг/га д.в.; N_p – рекомендованная доза, кг/га д.в.; K – поправочный коэффициент к рекомендованной дозе.

Поправочный коэффициент (K) зависит от содержания доступных питательных веществ в почве. В зависимости от класса обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия, он колеблется по азоту от 0,7 до 1,2, по фосфору – от 0,2 до 1,5 и по калию – от 0,5 до 1,7.

Дозы фосфора и калия для увеличения содержания их в почве рассчитывают по формуле: $D_p = 0,1 \times (C_1 - C_2) \times H$, где C_1 – планируемое содержание фосфора и калия в почве, мг/кг; C_2 – фактическое содержание фосфора и калия в почве, мг/кг; H – норма питательных веществ, необходимых для увеличения их содержания на 10 мг/кг почвы.

Дозу удобрений на прибавку урожая определяют исходя из выноса питательных веществ прибавкой урожая и коэффициентов усвоения питательных веществ из удобрений по формуле: $D_{пр} = U_{пр} \times B : K_u$, где $D_{пр}$ – доза удобрений на прибавку урожая, кг/га д.в.; $U_{пр}$ – прибавка урожайности, ц/га; K_u – коэффициент усвоения элементов питания из удобрений; B – вынос питательных веществ на 1 ц основной продукции с учетом побочной, кг.

Балансовый метод расчета доз удобрений на планируемую урожайность основан на применении дифференцированных по плодородию почв балансовых коэффициентов использования удобрений.

Расчеты осуществляются по следующей формуле: $D = B_u - O \cdot K_1 \cdot K_2$ где D – доза N, P₂O₅ или K₂O, кг/га; B_u – хозяйственный вынос соответствующего элемента с планируемым урожаем, кг/га д.в.; O – количество соответствующего элемента в органическом удобрении, кг/га д.в.; K_1 – балансовый коэффициент использования соответствующего элемента органического удобрения культурой и (или) ее предшественником, дифференцированный в зависимости от класса (группы) почвы и года действия, в долях единицы K_2 – балансовый коэффициент использования соответствующих минеральных удобрений, дифференцированный по классу обеспеченности почвы в сумме за ротацию, так как при распределении его действия по годам в сумме за ротацию получают практически те же результаты в долях от единицы. Использование этого метода позволяет сбалансированно и полностью обеспечить культуры необходимым количеством питательных элементов для получения запланированных уровней урожайности и одновременно оптимизировать по отношению к возделываемым культурам обеспеченность почвы подвижными формами

питательных элементов без дополнительных расчетов ожидаемого баланса питательных элементов.

Все другие балансово-расчетные методы и модификации определения оптимальных доз удобрений для получения планируемых уровней урожаев культур в любых почвенно-климатических условиях также могут быть использованы, но с обязательной последующей проверкой системы удобрения по ожидаемому балансу питательных элементов, так как без такой проверки не известно, что может произойти с обеспеченностью почв питательными элементами и, следовательно, с экологической ситуацией в целом на этой территории.

Применение балансовых коэффициентов позволяет определять оптимальные дозы и соотношения удобрений под отдельными культурами в севооборотах и любых чередованиях их с одновременным контролем и управлением изменений обеспеченности почв питательными элементами в желаемом направлении. Исчезает необходимость дополнительных расчетов балансов элементов (в полях, севооборотах, хозяйстве и т.д.), т.к. желаемый баланс закладывается в балансовых коэффициентах. Для органических удобрений коэффициенты следует подбирать обязательно с учетом года действия их, так как ежегодно эти удобрения применяют далеко не под все культуры севооборота. В нормативных методах более детально дозу азота в расчете на планируемую урожайность можно вычислить по формуле: $U \cdot H \cdot N_U = \frac{KN - (N_n + N_T)}{H}$ где N_U – доза азота, кг/га U – планируемая урожайность, ц/га H – норматив расхода азота на 1 ц зерна с учетом содержания его в побочной продукции и корнях, кг; N_n – содержание минерального азота в слое почвы 0-100 см до посева, кг/га; N_T – поступление азота в период вегетации растений, кг/га; KN – разностный коэффициент использования растениями минерального азота. Нормативы H и N_T устанавливаются на основе экспериментальных исследований зональных НИИ. Средние оценки текущей минерализации азота в зависимости от предшественников в слое 0-100 см, кг/га.

Дозу фосфорных удобрений рассчитывают по формуле: $D = U \cdot H_p$ (8.62) где D – доза P_2O_5 в расчете на планируемую урожайность, ц/га; U – урожайность, ц/га; H_p – норматив расхода P_2O_5 на 1 ц. Нормативы H_p устанавливаются экспериментально.

Вопросы для самоконтроля

1. Способы расчета доз удобрений под планируемую урожайность.
2. Нормативный способ расчета доз удобрений под планируемую урожайность.
3. Как определяются нормативы затрат удобрений на 1 га продукции?
4. Как устанавливаются поправочные коэффициенты к дозам удобрений на агрохимические свойства почвы?
5. На чем основывается метод расчета доз удобрений по элементарному балансу?
6. Какими формами определяется вынос питательных веществ растениями из почвы?
7. Как определяют запасы питательных веществ в почве?
8. На чем основаны статистические (эмпирические) методы определения норм удобрений под планируемую урожайность?
9. Как рассчитывается доза удобрений на прибавку урожая?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Безуглова О.С. Новый справочник по удобрениям и стимуляторам роста, Феникс, 2003. - 384 с.
2. Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И. Агрохимия / Под ред. Б.А. Ягодина. - М.: Мир, 2004. - 584 с.
3. Минеев В.Г. Агрохимия: Учебник. М.: МГУ, 2006 г. - 751 с.

4. Ковалев В.М. Методы оптимизации получения запланированных урожаев (программирование)- М.: МСХА, 2003гг.с. 89-101.
5. Кореньков Д.А. Минеральные удобрения при интенсивных технологиях. - М.: Росагропромиздат, 1990. - 192 с.
6. Дудина Н.Х. и др. Агрохимия и система удобрения / Дудина Н.Х., Панова Е.А., Петухов М.П. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 400 с.
7. Каюмов М.К. Расчёт доз удобрений // Земледелие. 1971. № 10. С. 23-24.
8. Михайлов Н.Н. Книпер В.П. Определение потребности растений в удобрениях. - М.: Колос, 1971. - 256с.
9. Возможности оптимизации минерального питания сельскохозяйственных культур с использованием тукосмесей Вацадзе Н.С., Долгинова В.А., Хомяков Д.М. - МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010. – 256 с.
10. Кадыров М. Д., Низамов Р. М., Хайруллин А. И. Рекомендации по применению тукосмесей. – ЗАО "Агросоль", 2009.

Дополнительная

Интернет-ресурсы

1. Как живешь фермер? www.profermer.ru.
2. ЗАО "Агросоль" - Тукосмеси, минеральные удобрения www.agrosolt.ru
3. Компания "ФосАгро" www.phosagro.biz
4. ОАО Минерально-химическая компания "Еврохим" www.eurochem.ru.
5. Группа компаний "Акрон" www.akron.ru.
6. ОАО "Объединенная химическая компания "УралХим" www.uralchem.ru.
7. Компании "Метоп" www.metop.ru.
8. Научно-производственная фирма "Химагро" - Производство минеральных удобрений www.himagro.com.

МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДОЗ УДОБРЕНИЙ НА ПЛАНИРУЕМУЮ УРОЖАЙНОСТЬ (по методике ВНИИА)

Классическим методом определения реакции культур в конкретных условиях на изменение дозы тех или других минеральных удобрений является полевой опыт. Однако подъем в последние годы уровня химизации и гибкость системы севооборотов обуславливают необходимость более быстрого расчета доз удобрений. Достаточно надежной основой для такой работы являются данные агрохимической службы.

Безусловно прогрессивными являются методы расчета доз, основанные на обработке большого массива исходных данных по каждому полю с помощью ЭВМ. Так, для многих районов разработаны и широко применяются способы расчета по системе «Радоз». Разработка на ЭВМ планов применения удобрений в хозяйствах позволяет быстро учесть влияние большого числа факторов в их взаимосвязи, поскольку в основе программы заложены экспериментальные данные научно-исследовательских учреждений.

Имеющиеся в каждом хозяйстве данные агрохимического обследования почв на содержание фосфора, калия и величину кислотности с успехом можно использовать для расчета доз удобрений. За основу при этом принимают средние дозы и соотношения элементов питания, рекомендуемые под те или иные культуры местными научными учреждениями. Например, в данной зоне под кукурузу рекомендуется вносить 60 кг азота (N), 60 кг фосфора (P_2O_5) и 90 кг калия (K_2O). В зависимости от плодородия почвы эту дозу уточняют. Так, при низкой или очень низкой обеспеченности фосфором его дозу увеличивают соответственно в 1,5 или 2 раза, а при повышенной обеспеченности этим питательным веществом ее снижают в 1,5 раза, при высокой совсем не вносят фосфор. Такой же расчет делают и по калию: при низкой обеспеченности почвы подвижным калием рекомендуемую среднюю дозу увеличивают, а при повышенной снижают.

Некоторые местные опытные учреждения и агрохимические лаборатории дают специальные поправочные коэффициенты к рекомендуемым дозам на различную степень обеспеченности почвы подвижными соединениями питательных веществ. Они могут быть положены в основу расчета доз удобрения.

Другая группа методов расчета доз основана на определении величин выноса питательных элементов урожаем. Известно, что в состав растений входит очень много химических элементов (свыше 60). Однако к безусловно необходимым относятся семь элементов: азот, фосфор, калий, сера, железо, кальций, магний. Кроме того, для получения высокого урожая обычно требуется обеспечить растения в небольшом количестве еще микроэлементами, такими, как бор, марганец, молибден, медь, цинк.

В среднем в урожаях сельскохозяйственных культур содержится относительно устойчивое количество основных питательных веществ. В значительных количествах растения потребляют кальций и магний. При уровне урожайности зерновых 20—30 ц с 1 га они выносят из почвы от 20 до 40 кг кальция (CaO) и почти столько же магния (MgO), а бобовые травы и овощи потребляют кальция в 10 раз больше, чем зерновые. Много выносят растения и серы (от 15 до 75 кг на 1 га). Микроэлементы используются растениями в значительно меньших количествах. Например, зерновые выносят бора (B) от 21 до 42 г на 1 га, марганца (Mn) 200—300 г, цинка (Zn) 300 г, меди (Cu) от 25 до 160 г на 1 га.

При расчете доз удобрений на планируемый урожай чаще всего пользуются методом балансовых расчетов. При этом методе расчета необходимо знать:

вынос питательных веществ всем планируемым урожаем в кг;

содержание питательных веществ в почве; коэффициенты использования их из почвы; коэффициент использования их из удобрений.

Предположим, запланировано получить 300 ц картофеля с 1 га на участке, где почва дерново-подзолистая, тяжелосуглинистая со следующими агрохимическими показателями: азота по Тюрину — Кононовой — 4 мг на 100 г, P_2O_5 и K_2O по Кирсанову соответственно 2,5 и 6 мг на 100 г почвы.

Для установления доз удобрений необходимо прежде всего определить вынос питательных веществ планируемым урожаем.

Этот вынос составит: N—150 кг, P_2O_5 — 60 кг, K_2O —240 кг. Затем следует выяснить, какое количество этих элементов будет использовано из почвы и какое следует внести в виде удобрений.

Для подсчета содержания питательных веществ в почве, зная массу 1 га пахотного слоя (3 млн. кг) и содержание основных элементов в мг на 100 г почвы (1 мг д. в. на 100 г почвы соответствует 30 кг на 1 га), находим, что в почве содержится: азота $4 \times 30 = 120$ кг, фосфора $2,5 \times 30 = 75$ кг, калия $6 \times 30 = 180$ кг.

Коэффициенты использования питательных веществ из почвы колеблются в зависимости от типа почвы, ее механического состава и от возделываемой культур. Коэффициенты использования растениями питательных веществ из органических и минеральных удобрений значительно изменяются в зависимости от почвы, погодных условий, вида культур, доз, форм удобрений и других факторов. Однако при расчете можно пользоваться ориентировочными показателями.

Почва, на которой возделывается картофель, слабокислая.

По таблицам коэффициент использования из почвы фосфора 10%, азота 20%, калия 12%. В соответствии с этим, в 120-20 растения смогут использовать из

$$N = \frac{120 \cdot 20}{100} = 24 \text{ кг}; \quad P_2O_5 = \frac{75 \cdot 10}{100} = 7,5 \text{ кг}; \quad K_2O = \frac{180 \cdot 12}{100} = 36 \text{ кг}.$$

почвы:

Из общей потребности следует вычесть количество питательных элементов, которое будет использовано из почвы. Тогда получится количество минеральных или органических удобрений, которое надо внести в почву:

$$150 - 24 = 126 \text{ кг N};$$

$$60 - 7,5 = 52,5 \text{ кг } P_2O_5;$$

$$240 - 36 = 204 \text{ кг } K_2O$$

Из общей потребности следует вычесть количество питательных элементов, которое будет использовано из почвы. Тогда получится количество минеральных или органических удобрений, которое надо внести в почву:

$$150 - 24 = 126 \text{ кг N};$$

$$60 - 7,5 = 52,5 \text{ кг } P_2O_5;$$

$$240 - 36 = 204 \text{ кг } K_2O.$$

Под картофель будет внесено навоза 30 т на 1 га. Исходя из среднего химического состава навоза (N — 0,5%; P_2O_5 — 0,25%, K_2O — 0,6%), подсчитаем количество элементов питания, внесенных с навозом: N — 150 кг, P_2O_5 — 50 кг, K_2O — 180 кг.

С учетом коэффициентов использования из органических удобрений в первый год используется:

$$N = \frac{150 \cdot 25}{100} = 37,5 \text{ кг};$$

$$P_2O_5 = \frac{50 \cdot 40}{100} = 20 \text{ кг}; \quad K_2O = \frac{180 \cdot 60}{100} = 108 \text{ кг}.$$

Итак, следует внести за счет минеральных удобрений:

$$N (126 \text{ кг} - 37,5) = 88,5 \text{ кг};$$

P205 (52,5 кг - 20 кг) = 32,5 кг;

K20(195 кг - 108 кг) = 87,0 кг.

Эти дозы уточняются с учетом коэффициента использования из минеральных удобрений. Этот расчет можно представить в виде формулы:

$$D = \frac{100 \cdot y \cdot V - 30 c \cdot d}{e}, \text{ где } ,$$

D — доза удобрения, кг д. в.;

y — планируемая урожайность ц с 1 га;

c — содержание питательных элементов, мг на 100 г почвы; d — усвоение растением питательных веществ из почвы, %;

e — усвоение растением питательных веществ из удобрений, %;

V — средний вынос питательных элементов на 1 ц урожая, кг.

Баланс питательных веществ в севообороте. Годовые и календарные планы применения удобрений.

Научные основы применения удобрения базируются на познании круговорота веществ и их баланса в земледелии. Дефицит элементов питания может быть выявлен на основе балансовых расчетов.

Баланс питательных веществ — сопоставление статей поступления их в почву извне с суммарным расходом на формирование урожаев и непродуктивные потери из почвы. Это упрощенная математическая модель круговорота веществ в земледелии. На основании расчета баланса и выявления дефицита в динамике можно регулировать питательный режим почвы с помощью удобрений.

Очень важным условием составления баланса питательных веществ является прогнозирование плодородия почвы. Положительный баланс элементов питания способствует сохранению плодородия почвы и дальнейшему его повышению.

Данные баланса питательных веществ используют для учета количества вовлекаемых в хозяйственный круговорот элементов питания растений и животных как основу определения необходимого уровня развития туковой промышленности, включая размещение ее по территории страны, установление ассортимента удобрений и т. д. Определение баланса элементов питания необходимо для разработки единой системы оценки эффективности применения минеральных удобрений.

Баланс питательных веществ необходим для учета статей прихода и расхода их в почвах. Данные баланса питательных веществ используют для определения норм удобрений в конкретном хозяйстве, севообороте, на поле (методы балансово-расчетные и на возмещение вносимыми удобрениями выноса питательных веществ).

В соответствии с разработанными системами удобрения ежегодно составляют планы применения удобрений, задачи которых следующие:

1) при наличии в хозяйстве разработанной системы удобрения по одной схеме определить нормы удобрений для сельскохозяйственных культур на каждом поле севооборота;

2) уточнить нормы удобрений при замене на поле сельскохозяйственной культуры (например, при замене озимых культур яровыми зерновыми или при замене в кормовом севообороте картофеля кормовыми корнеплодами и т. д.), а также уточнить в зависимости от погодных условий (летом предшествующего года, а также осенью и зимой);

3) откорректировать нормы удобрений при известковании. Норму фосфора после известкования можно снизить, а калия, наоборот, повысить;

4) определить основные формы удобрений. В системе указывают только количество питательных веществ.

В плане на основе откорректированной нормы определяют ту или иную форму удобрения. Например, при общей норме фосфорных удобрений на кислых дерново-подзолистых почвах можно предусмотреть припосевное внесение суперфосфата в дозе 0,5 ц/га, а остальную часть внести в виде фосфоритной муки в основное удобрение под зяблевую вспашку. В хозяйстве применяют различные формы органических удобрений. В соответствии с биологией сельскохозяйственной культуры необходимо определить то органическое удобрение, которое обеспечит гарантированную прибавку урожая;

5) определить общую потребность в минеральных и органических удобрениях под культуру;

6) распределить удобрения по срокам внесения;

7) определить способы и приемы внесения удобрений;

8) определить основные машины по внесению и заделке удобрений.

Годовой план внесения удобрений в каждом конкретном хозяйстве делают по определенной форме. В ней отражаются следующие показатели:

- площадь поля,
- культура и ее урожайность,
- потребное количество питательных веществ,
- нормы удобрений, срок, техника применения при основном, припосевном и послепосевном (подкормка) способах внесения удобрений.

По каждому полю подсчитана потребность в удобрениях. Определена общая потребность в удобрениях на всю площадь севооборота.

При разработке годового плана применения удобрений обязательным является разработка плана организационно-хозяйственных мероприятий реализации программы работ по рациональному применению удобрений. В этом плане предусматривают полный технологический цикл самых разнообразных работ (включающий дробление и смешивание удобрений, их погрузку на транспорт, перевозку удобрений до поля, рассев минеральных и разбрасывание органических удобрений), определяют потребность в машинах, рабочей силе и транспорте для внесения удобрений как до посева, так и при посеве и подкормках, а также в транспорте для перевозки органических удобрений в зимний период.

Вопросы для самоконтроля

1. Понятие о системе применения удобрений.
2. Виды систем удобрения.
3. Особенности питания культур в севообороте.
4. Сроки и способы внесения удобрений.
5. Каковы особенности питания и удобрения зернобобовых и крупяных культур?
6. От чего зависит эффективность подкормок озимых культур?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. 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

Дополнительная

1. Система удобрений: В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко: учебник / В.Н. Ефимов. - М.: КолосС, 2003. – 320 с.

СИМБИОТИЧЕСКАЯ И АССОЦИАТИВНАЯ АЗОТФИКСАЦИЯ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ

11.1. Условия эффективной работы азотфиксаторов

Улучшить азотное питание многолетних злаковых трав и других небобовых культур способны ассоциативные азотфиксаторы. Эти микроорганизмы, размещаясь в корневой зоне растений, в благоприятных условиях могут обеспечить до 45% потребности растений в азоте. Оптимизируя свойства почвы и внося органические удобрения, продуктивность природной популяции ассоциативных азотфиксаторов можно повысить в 2 – 4 раза.

Возможность активизации азотфиксации в прикорневой зоне небобовых растений была предсказана еще в 1926 г С.П. Костычевым, а экспериментально подтверждалась различными исследователями при использовании балансового метода. В частности, это было показано в длительных (80 – 140 лет) опытах по возделыванию небобовых растений без применения азотных удобрений (Брэндбокский опыт в Англии, поля Прянишникова в СССР, опыт “вечная рожь” в ФРГ и др.). Бессменное возделывание небобовых культур (озимой пшеницы, ячменя, ржи, риса и др.) не приводило к заметному снижению содержания азота в почве, несмотря на ежегодное отчуждение его с урожаем, тогда как в вариантах без растений (“вечный пар”) происходило непрерывное уменьшение количества гумуса и азота в почве.

К настоящему времени изучение ассоциативной азотфиксации превратилось в самостоятельный раздел учения о биологическом азоте. Показано широкое распространение ассоциативной азотфиксации, выяснены многие физиологические и биохимические особенности этого процесса, активно изучаются микроорганизмы, осуществляющие его в ассоциации с растениями. Изучение особенностей ассоциативной азотфиксации привело к выводу о большой ее экологической значимости – именно этим путем вероятнее всего происходит пополнение фонда доступного азота в большинстве природных экосистем. Экологической нишей, в которой протекает фиксация атмосферного азота, является фитоплан (ризоплан и филлоплан) – зона обитания микроорганизмов на поверхности подземных и надземных органов растений, где имеется необходимое энергетическое обеспечение в виде продуктов экзоосмоса и корневого опада, существует обмен многими другими метаболитами как результат синтрофного взаимодействия различных организмов, а также создаются условия, способствующие активизации нитрогеназы – пониженное парциальное давление O_2 , постоянный дефицит легкодоступных соединений азота, повышенная влажность, температура и др. Замечено, что добавление в почву глюкозы, сахара, крахмала, зеленого удобрения и других легкоассимилируемых соединений сильно и быстро стимулирует азотфиксацию, причем этот эффект проявляется во всех почвах вне зависимости от их свойств. Из этих наблюдений можно сделать однозначный вывод – азотфиксирующий генофонд всех почв достаточно богат, а деятельность гетеротрофных азотфиксирующих бактерий в них лимитирована недостатком легкодоступного энергетического субстрата, например углеводов.

Выполненные многочисленные работы однозначно свидетельствуют о том, что именно фотосинтетическая деятельность растений существенно влияет на динамику и интенсивность азотфиксации в фитоплане и, в конечном счете, повышает продуктивность ее в экосистеме. Однако пока мало данных в масштабах ассоциативной азотфиксации в конкретных фитоценозах, поскольку они могут быть получены только на основе многократных измерений реальной скорости процесса в природной среде, являющихся пока трудоемкими и

длительными. Значительно больше оценок, полученных при однократных измерениях и обычно в периоды активного развития растений. Тем не менее, эти данные представляют определенный интерес как для общей характеристики ассоциативной азотфиксации, так и накопления сведений о возможных величинах в конкретных экосистемах. В результате изучения деятельности ассоциативных азотфиксаторов на разных типах почв выявлены эколого-географические особенности азотфиксации и ее масштабы в основных биоклиматических зонах. Размеры ее, по литературным данным, колеблются от 0,5 до 200 кг/га в год. В почвах тундровой зоны установлена очень низкая активность азотфиксации – 0,5 – 1,5 кг/га в год, в подзолистых почвах таежной зоны – от 2,7 до 4,9 кг/га азота. При этом под сосновым лесом уровень фиксации азота был выше и составил от 12 до 23 кг/га. В зоне умеренного климата на дерново-подзолистой почве размеры ассоциативной азотфиксации составили от 18 до 40 кг/га. Наиболее интенсивно ассоциативная азотфиксация протекает в почвах тропической зоны, где средний уровень ее равен 200 кг/га в год. На активность ассоциативной азотфиксации большое влияние оказывают и сами растения. Так, A. Nelson, L. Barber, H. Evans, изучавшие нитрогеназную активность в ризосфере различных злаков на лугах Орегона (США), а также на участках, лишенных растительности, установили, что в ризосфере ячменя и полевицы она была примерно в 100 – 200 раз выше, чем в почве междурядий. Аналогичные данные получены Т.А. Калининской с соавторами при изучении азотфиксации проростками риса в черноземных почвах, где активность ее в прикорневой зоне была в 50 раз выше, чем в почве без растений. В опытах М.М. Умарова, Н.Г. Кураковой, Б.Ф. Садыкова в зоне умеренного климата ассоциативная азотфиксация в зоне ризосферы под посевами пшеницы колебалась от 12 до 33,6, под травами – от 30 до 84 кг/га в год. Повышение активности азотфиксации в присутствии растений подтверждается и другими исследователями. Ассоциативная азотфиксация протекает с той или иной скоростью во всех почвах в прикорневом пространстве или на корнях растений самых различных мест обитания. Высокий ее уровень обнаружен в ризосфере большого числа тропических небобовых растений (сорго, сахарный тростник, рис, пшеница и др.). В почвах зоны умеренного климата ассоциативная азотфиксация выявлена в ризосфере многих зерновых культур, многолетних трав, сенокосов и пастбищ, пропашных и других культур. Однако размеры ассоциативной азотфиксации небобовых культур различны. Активность ассоциативной азотфиксации в почве зависит от вида растений и наличия легкодоступного энергетического материала в прикорневой зоне – корневых выделений и корневого опада, объем которых, по последним данным, составляет приблизительно от 25 до 50% продукции фотосинтеза. Считается, что высокая активность в ризосфере большинства растений тропической зоны поддерживается за счет того, что общим свойством этих растений является способность использовать при фотосинтезе путь через $C - 4$ – дикарбоновые кислоты. Растениям этого типа требуется интенсивное освещение. Максимальная скорость фотосинтеза у них значительно выше, чем у растений, использующих цикл Кальвина ($C - 3$ путь у овса, ячменя, пшеницы и др.). Поскольку тропическими растениями расходуется меньше углеводов при фотодыхании, большее их количество может пойти на рост корней и корневые выделения, что и способствует усилению ассоциативной азотфиксации. Более высокий уровень нитрогеназной активности в ризосфере небобовых растений по сравнению с почвой, где растения отсутствуют, свидетельствуют о том, что ассоциативная азотфиксация лимитируется в первую очередь источником углеродной пищи, интенсивностью поступления корневых экссудатов в почву, влиянием условий окружающей среды и может сильно колебаться в течение вегетационного периода и суток. Поэтому для оценки продуктивности ассоциативной азотфиксации в агроценозах необходимо изучение динамики процесса в течение вегетационного периода непосредственно в полевых условиях. Кроме того, сопоставление динамики азотфиксации в ризосфере с фенофазами развития

сельскохозяйственных культур позволяет косвенно оценить степень влияния растений на деятельность diaзотрофных бактерий.

Изучение в опытах М.М. Умарова динамики ассоциативной азотфиксации в течение двух вегетационных периодов под посевами луговых трав (тимофеевки и овсяницы луговой) и на незасеянном участке, показало, что активность азотфиксации под злаковыми травами на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве изменялась в течение вегетации и имела два максимума. Она постепенно возрастала с развитием всходов (с середины мая до середины июня) и достигла первого максимума (0,53 и 0,38 мг/м² за час соответственно) для тимофеевки и овсяницы в начале колошения. После первого укоса и с наступлением относительно жаркого и сухого периода (середина июня) активность снизилась до 0,21-0,22 мг/м² за час. Затем по мере отрастания растений второго укоса скорость азотфиксации начала увеличиваться и достигла второго максимума (0,52 мг/м² за час под тимофеевкой и 0,48 мг/м² под овсяницей) в фазе цветения злаков. В конце августа и сентябре скорость азотфиксации уменьшилась. В почве незасеянного участка азотфиксирующая активность была в 1,5-2 раза ниже, чем под посевами злаков и изменялась незначительно в течение всего лета. Интенсивность азотфиксации изменялась и в течение суток и была выше днем и ниже ночью.

Таким образом, стимулирующее влияние растений на деятельность diaзотрофных бактерий, выражающееся в наличии сезонной и суточной динамики ассоциативной азотфиксации наиболее вероятно объясняется поступлением в прикорневую зону легкодоступного энергетического материала из корневых выделений и корневого опада. Известно, что интенсивность корневых выделений возрастает в фазы активного развития растений и при высокой скорости фотосинтеза. У злаков в этот период ассимиляционная поверхность растений достигает максимального размера и возрастает продуктивность фотосинтетического аппарата. Имеется ряд данных о тесной зависимости азотфиксации в ризосфере растений от фотосинтетической деятельности. В частности, только этой зависимостью можно объяснить суточную динамику азотфиксации в ризосфере. Более высокий уровень процесса азотфиксации в полевых условиях в ризосфере по сравнению с почвой без растений можно объяснить только массированными поступлениями в прикорневую зону легкодоступного энергетического субстрата в виде прижизненных растительных выделений и опада. Зависимость интенсивности фиксации атмосферного азота ассоциативными азотфиксаторами от выделительной деятельности корневых систем растений, а в конечном итоге от фотосинтетической активности, свидетельствует о тесной сопряженности двух уникальных биологических процессов – азотфиксации и фотосинтеза. Подтверждением этого является низкий уровень ассоциативной азотфиксации в районах с низкой продуктивностью фотосинтеза и высокий – в районах высокой его продуктивностью. Таким образом, растения в значительной степени влияют не только на азотфиксирующую активность почвы, но и являются главным фактором, определяющим динамику ассоциативной азотфиксации и ее размеры.

Определение количества азота, которое поступает в почву под различными сельскохозяйственными культурами за счет деятельности diaзотрофных почвенных бактерий, является одной из главных задач экологии ассоциативной азотфиксации. Сведения об уровне ассоциативной азотфиксации в окультуренных почвах зоны умеренного климата немногочисленны и нередко противоречивы. Обусловлено это главным образом тем, что данные получены разными методами. Для оценки общих масштабов вклада diaзотрофных почвенных микроорганизмов в азотный баланс почв требуется накопление большого фактического материала. Особое значение имеют исследования, проводимые непосредственно в поле, позволяющие оценить уровень азотфиксации в конкретных почвенно-климатических условиях и учесть влияние на процесс различных возделываемых культур.

Опыты, проведенные М.М. Умаровым на дерново-подзолистых почвах показали, что при наличии активно вегетирующей растительности (ячмень, луговые злаки) суммарная продуктивность азотфиксации за вегетационный период достигала 40 – 55 кг/га. В то же время в парующей почве и в междурядьях растений ее уровень не превышал 10 – 13 кг в пересчете на 1 га. Размеры ассоциативной азотфиксации на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве под тимофеевкой и овсяницей составили соответственно 40,1 и 39,2 кг/га за сезон, а несимбиотической фиксации на парующем участке и в междурядьях – 13,1 кг/га. Для дерново-подзолистой супесчаной почвы размеры азотфиксации за сезон составили 40,4 кг/га под ячменем, 29,6 кг/га под картофелем и 10,1 – 10,5 кг/га на почве в междурядьях растений.

Таким образом, в дерново-подзолистых почвах азотфиксация за вегетационный период составляет под посевами злаковых растений около 40, под картофелем – 30 кг/га. В то же время на не занятых растениями участках фиксируется лишь 10 – 13 кг/га. Очевидно, что именно это количество молекулярного азота связывается бактериями за счет использования пожнивных растительных остатков, т. е. в ходе несимбиотической азотфиксации. Остальные 20 – 25 кг/га усваиваются диазотрофами при потреблении или в качестве углеродной пищи легкодоступных органических соединений, выделяемых растениями в прикорневую зону в виде корневых выделений и корневого опада, т. е. за счет ассоциативной азотфиксации. Кроме растений на ассоциативную азотфиксацию существенное влияние могут оказывать температура, влажность почвы, концентрация углекислоты, обеспеченность элементами питания и др. Оптимальная температура для большинства ассоциативных азотфиксаторов 28⁰С, минимальная – от 9 до 50⁰С. По результатам полевых наблюдений температура начинает тормозить азотфиксацию при значениях ниже 20⁰С, тогда как при более высокой температуре воздуха она практически не изменяется. По данным А.И. Чундаревой с соавторами, температура почвы может выступать лимитирующим фактором в отношении фиксации молекулярного азота лишь при ее относительно низких значениях – ниже 70⁰С. Полное прекращение азотфиксации происходит при температуре 2 – 3⁰С. На ассоциативную азотфиксацию не меньшее влияние оказывает и влажность почвы. Так, исследования, проведенные М.М. Умаровым на дерново-подзолистых почвах, свидетельствуют о высокой степени влияния влажности почвы на ее азотфиксирующую способность. При влажности почвы ниже 20% азотфиксация оставалась на относительно низком уровне, незначительно изменялась в диапазоне влажности от 8 до 20%. При увеличении влажности выше этого уровня активность азотфиксации быстро росла, достигала максимума при влажности 40%.

Помимо уже рассмотренных факторов, существенное влияние на ассоциативную азотфиксацию может оказать концентрация CO₂ в атмосфере. Известно, что среднее содержание углекислоты в земной атмосфере в 0,03% является оптимальным для растений, и при повышении концентрации CO₂ до 0,1 – 0,2% в условиях отсутствия лимитирования другими факторами фотосинтез усиливается. В целом продуктивность фитоценозов и в особенности агрофитоценозов не в последнюю очередь определяется содержанием CO₂ в воздухе. При удвоении концентрации углекислоты в атмосфере продуктивность фотосинтеза возрастает в 1,5 раза. Таким образом, оптимизация содержания CO₂ в атмосфере может служить одним из способов повышения не только продуктивности фотосинтеза, но и масштабов ассоциативной азотфиксации. Активное регулирование концентрации углекислоты в приземном слое атмосферы путем внесения навоза, компостов, заправки соломы и других растительных остатков может способствовать повышению доли и биологического азота в урожае. В последние годы после открытия явления ассоциативного связывания азота небобовыми растениями появились многочисленные предложения проводить инокуляцию растений активными штаммами азотфиксирующих бактерий. К наиболее активным из них относятся *Enterobacter*, *Azospirillum*, *Azotobacter* и другие.

Бактерии рода *Azospirillum* широко распространены в условиях умеренного климата и относятся к активным фиксаторам атмосферного азота. Бактерии этого рода как утверждают Т.А. Калининская и Т.В. Редькина всегда присутствуют как эпифиты на семенах злаковых и интенсивно размножаются при их прорастании. По данным Тien Т.М. бактерии рода *Azospirillum* способны синтезировать фитогормональные вещества что дает возможность рассматривать и как стимуляторы роста растений. Накоплен обширный экспериментальный материал, показывающий высокую эффективность приема инокуляции семян небобовых растений. Так, экономия азота от применения инокулянтов, изготовленных на основе азоспириллы, по данным Индийского института сельскохозяйственных исследований в Нью-Дели, составила в среднем при выращивании риса 30 – 40 кг/га, пшеницы и ячменя – около 40, а сорго и африканского проса – 40 – 60 кг/га. Урожайность риса возросла на 76,6, пшеницы – 22,4, ячменя – на 26,6%. Однако в ряде районов прибавка от этого приема не превышала 3 %. Полевые исследования, проведенные на Летбриджской опытной станции (Канада), показали, что если растения пшеницы 10 – 20% своей потребности в азоте покроют за счет фиксации из атмосферы, то прием инокуляции азоспириллой может внести значительный вклад в азотный баланс страны. Исследования кафедры агрохимии БГСХА также показали, что при обработке семян ячменя бактериальным удобрением на основе азоспириллы урожай зерна по сравнению с фосфорно-калийным фоном в среднем за 3 года возрос на 9,1 ц/га. Действие бактериального удобрения было эквивалентно 30 кг/га азота. Весьма эффективным, по данным Бел НИИПА, оказалось применение этого удобрения под многие злаковые травы. Действие его было эквивалентно 40 – 60 кг/га минерального азота, а прибавки урожая многолетних трав (ежа сборная, овсяница луговая, тимopheевка луговая, кострец безостый) составили 7,9 – 24,4%. Кроме того, применение бактериального удобрения на основе азоспириллы снижало поступление цезия – 137 в растения в 1,4 – 1,7 раза. Высокая эффективность применения ассоциативного азотфиксатора азобактерин подтверждается также исследованиями Т.Ф. Персиковой. Так при инокуляции семян озимой пшеницы прибавка от применения азобактерина составила 0,21 т/га. По данным Н.А. Михайловской инокуляция злаковых компонентов травосмеси клевер + овсяница + тимopheевка азобактерином способствовала получению урожая 27,4 ц/га сена на фосфорно-калийном фоне по сравнению с контролем и 21,5 ц/га на фоне N30 PK. Наиболее отзывчивые на инокуляцию были кострец безостый и ежа сборная, средний уровень прибавок урожайности составил 9 и 7 ц/га сухой массы соответственно. Бактеризация тимopheевки луговой и овсяницы луговой обеспечила прибавки 6 и 4 ц/га сухой массы. Исследованиями Л.Н. Лученка выявлена высокая эффективность применения бактериальных препаратов. При этом средний уровень прибавок урожайности бобово-злаковой травосмеси при использовании азобактерина за 4 года жизни трав составил 17,2 ц/га сухой массы. К тому же внесение *Azospirillum brasilense* приводило к повышению содержания азота преимущественно в злаковых травах. Г.А. Демарчук с соавт. установлено, что инокуляция ассоциативными азотфиксаторами семян костреца безостого способствовала повышению его кущения. В сумме за два укоса прибавка урожайности от инокуляции семян составила 9,8 – 16,6 ц/га сухой массы. Бактеризация диазотрофами эффективна для большинства видов многолетних злаковых трав, возделываемых в республике. За счет бактеризации выход сена повышается на 5 – 30% в зависимости от почвенных и погодных условий при уровне урожая без инокуляции в пределах 60 – 100 ц/га. По данным А.А. Белимова внесенные при инокуляции диазотрофы образуют эффективные азотфиксирующие ассоциации с ячменем и злаковыми травами, способные в 2 – 10 раз повышать азотфиксацию в корневой зоне. Анализ литературных данных показывает, что диазотрофная бактеризация позволяет улучшить режим минерального питания и водного режима, ускоряет рост и развитие растений, способствуют повышению урожайности и качества продукции.

В процессе жизнедеятельности корневые diaзотрофы выделяют специфические биологически активные соединения, фитогармоны и антибиотики, способные оказывать значительный ростостимулирующий и антифунгальный эффект. За счет бактеризации семян увеличивается длина стеблей и корней растений (в среднем в 1,5 раза), возрастает количество продуктивных стеблей (на 15 – 30%). Заметное действие ассоциативных бактерий проявляется в подавлении развития фитопатогенных почвенных грибов.

Одним из факторов, оказывающим сильное регулирующее действие на азотфиксацию вообще и на ассоциативную азотфиксацию в частности, являются минеральные азотные удобрения. В литературе имеются противоречивые сведения о влиянии минеральных соединений азота на активность азотфиксации в почве. Широко распространено мнение, что минеральный азот сильно тормозит этот процесс. В то же время имеются данные, что дозы азотных удобрений, обычно используемые в сельскохозяйственной практике (100 – 150 кг/га) вызывают лишь кратковременное подавление азотфиксации, а существенное торможение наблюдается при более высоких дозах минерального азота. Характерно также, что азотные удобрения действуют в первую очередь на фотосинтезирующие бактерии – азотфиксаторы и только с увеличением дозы начинают ингибировать азотфиксирующую активность гетеротрофных бактерий. Азотные удобрения, внесенные в небольших дозах, стимулируют развитие растений на первых этапах и повышая продуктивность фотосинтетического аппарата, способствуют, после удаления избытка минеральных соединений азота в почве в результате потребления их растениями и микроорганизмами, возрастанию ассоциативной азотфиксации на последующих стадиях развития растений. Оптимизация доз азотных удобрений с учетом свойств почвы, биологических особенностей растения и экологии ассоциативной азотфиксации может позволить увеличить долю биологического азота в урожае и более экономно расходовать минеральные удобрения.

Таким образом, создание оптимальных условий для жизнедеятельности ассоциативных микроорганизмов обеспечит высокий уровень фиксации молекулярного азота многолетними злаковыми травами, позволит уменьшить дозы азота, повысить урожайность и качество продукции, снизить ее себестоимость.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризуйте процесс ассоциативной азотфиксации.
2. От чего зависит активность азотфиксаторов?
3. Влияние внешних факторов на изменение активности азотфиксации.
4. Влияние инокуляции на накопление азота в почве.
5. Влияние биопрепаратов на урожайность сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. 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

Дополнительная

1. Система удобрений: В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко: учебник / В.Н. Ефимов. - М.: КолосС, 2003. – 320 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ С.-Х. КУЛЬТУР

12.1. Почвенная диагностика питания растений

Как известно, для рационального, агрономически эффективного и экологически безопасного применения удобрений требуется совершенствование методов расчета доз удобрений под планируемый урожай. При этом необходимо, чтобы рекомендуемые дозы удобрений в достаточной мере удовлетворяли потребности растений для получения максимально возможной в конкретных условиях продуктивности с наибольшим экономическим и энергетическим эффектом, а также способствовали повышению плодородия почвы.

Агрохимической наукой разработан ряд методов расчета доз удобрений под планируемый урожай сельскохозяйственных культур, в основе которых лежит информация, получаемая в краткосрочных и длительных опытах с удобрениями (Ермохин Ю.И., 1966, 1988, 1990, Болдырев Н.К., 1970, Болдырев Н.К., Зверева Е.А., 1986, Райков В.Н., 1989, Чуб М.П., 1989, Ельников И.И., 1989, Кормилицын В.Ф., 1990, Ермохин Ю.И., Бобренко И.А., 1999, Дерябин В.Н., 2000 и другие).

В наших опытах выявлена тесная зависимость между содержанием нитратного азота в почве и урожаем сена суданской травы, зеленой массы сорго сахарного кукурузы на зерно и картофеля, ячменя, нута.

Исходя из приведенных ранее уравнений регрессии, определены оптимальные уровни содержания нитратного азота в почве, обеспечивающие запланированную урожайность. Пользуясь данными таблицы 1 можно с помощью метода доведения до оптимума (МДОП) рассчитать дозу удобрения, зная исходное содержание нитратного азота в почве. Приведенные результаты математической обработки экспериментальных данных показывают тесную корреляционную зависимость между содержанием азота в почве в несколько сроков отбора образцов (перед посевом, всходы, трубкование, выметывание метелки у суданки, сорго и кукурузы, перед посевом, ветвление, бутонизация - у картофеля) и урожаем, но для расчета доз азотных удобрений достаточно иметь показатели содержания $N-NO_3$ перед посевом и довести их до оптимального уровня, соответствующего запланированной величине урожайности, внесением расчетной дозы.

Для расчета необходимо пользоваться формулой ВИУА:

$$DN = 100 \cdot (N_{\text{опт.}} - N_{\text{исх.}}) / A,$$

где DN – расчетная доза азота удобрения, кг/га действующего вещества,

$N_{\text{опт.}}$ – содержание нитратного азота в расчетном слое почвы,

обеспечивающее планируемый урожай, мг/кг почвы,

$N_{\text{исх.}}$ – исходное содержание $N-NO_3$ в почве в слое 0-40 см, мг/кг,

A – увеличение содержания $N-NO_3$ в 0-40 см слое почвы от внесения 100 кг/га действующего вещества азота удобрений, мг/кг почвы.

В наших опытах установлено, что от 100 кг азота удобрений содержание его в почве повышается в среднем на 12,3 мг/кг, или от 8,1 кг азота удобрений концентрация нитратного азота в слое 0-40 см увеличивается на 1 мг/кг.

Пример: весной перед посевом в почве найдено 13,7 мг/кг нитратного азота. Оптимальное содержание $N-NO_3$ в слое почвы 0-40 см, установленное в опытах для получения урожая суданской травы 160 ц/га, должно быть 44,5 мг/кг, то есть нужно внести азота удобрений с расчетом повышения содержания на 30,8 мг. Тогда доза удобрения составит: $30,8 \cdot 8,1 = 249$ кг/га действующего вещества, или: $[(44,5 - 13,7) \cdot 100] / 12,3 = 250$ кг/га.

Таким образом, внесением в почву 250 кг/га азота удобрений в почве создается оптимальный уровень азотного питания для формирования урожая сена суданской травы 160 ц/га.

Средний норматив затрат фосфора удобрений на увеличение содержания подвижного фосфора в почве на 1 мг/кг в слое 0-30 см нами установлен в 9,7 кг при внесении одного фосфорного удобрения и 7,5-9,5 кг при совместном внесении с азотными удобрениями. При исходном содержании подвижного фосфора 15,3 мг/кг доза фосфорного удобрения составит $[36.6 - 15.3] \cdot 7.5 = 160$ кг/га.

Расчет доз удобрений балансовым методом с использованием полученных в результате опытов оптимальных уровней выноса питательных веществ с единицей урожая и коэффициентов использования азота и фосфора из почвы и удобрений дал несколько другие дозы: азота было несколько больше – 299 кг/га, а фосфора меньше – 135 кг/га. По расчетному варианту вынос азота с 1 тонной урожая составил 23,5 кг, фосфора – 8,4 кг. Коэффициенты использования: нитратного азота – 138%, азота удобрений – 93%, подвижного фосфора – 75%, фосфора удобрений – 66%.



Исходя из уравнений регрессии определены оптимальные уровни содержания нитратного азота в почве, обеспечивающие запланированную урожайность. Пользуясь данными можно с помощью метода доведения до оптимума (МДОП) рассчитать дозу удобрения, зная исходное содержание нитратного азота в почве. Приведенные результаты математической обработки экспериментальных данных показывают тесную корреляционную зависимость между содержанием азота в почве в несколько сроков отбора образцов (перед посевом, всходы, трубкование, выметывание метелки у суданки, сорго и кукурузы, перед посевом, ветвление, бутонизация - у картофеля) и урожаем, но для расчета доз азотных удобрений достаточно иметь показатели содержания $N-NO_3$ перед посевом и довести их до

оптимального уровня, соответствующего запланированной величине урожайности, внесением расчетной дозы.

Согласно приведенным данным для получения урожая сена суданки 160 ц/га в почве в слое 0-40 см перед посевом должно быть 44,5 мг/кг нитратного азота или 232 кг/га.

Нормативы затрат удобрений для повышения содержания 1. нитратного азота и подвижного фосфора на 1 мг/кг почвы

а) В среднем за годы исследований концентрация N-NO₃ в слое 0-40 см повышалась на 1 мг/кг почвы от внесения 7,5-8,7 кг действующего вещества азотных удобрений на фоне возрастающих доз фосфорных, при внесении одного азотного удобрения норматив составлял уже 9,4 кг/мг.

б) В наших опытах норматив затрат фосфора удобрения установлен в среднем в 9,7 кг д.в. на 1 га, или увеличение содержания P₂O₅ от 100 кг/га действующего вещества удобрения составляет в среднем 10,3 мг/кг почвы.

При совместном внесении фосфорных удобрений с азотными норматив затрат фосфора на увеличение содержания подвижной P₂O₅ снижается и составляет в зависимости от доз азота и фосфора 7,5-9,5 кг/мг.

2. Общего азота и общего фосфора в растениях

а) Для корректировки содержания азота в растениях с целью доведения его до оптимального расчетным методом на основании данных полевых опытов нами установлены нормативы затрат действующего вещества азотных удобрений для повышения концентрации на 0,1% в фазу кущения – 11-14 кг/га, в фазу трубкования – 14-17 кг/га.

б) Для корректировки содержания фосфора в растениях в целях доведения до оптимального нами на основе полевых опытов рассчитаны нормативы затрат фосфорных удобрений (действующего вещества) для повышения концентрации на 0,01%: в фазу кущения – в среднем 3,0 кг/га, в фазу трубкования – 4,2 кг/га.

Таблица 1. Оптимальное содержание нитратного азота в почве, обеспечивающее достижение планируемого урожая сена суданской травы

Планируемая урожайность, ц/га	Содержание нитратного азота, мг/кг почвы		
	Сроки отбора образцов почвы и фазы роста и развития		
	Перед посевом	Всходы	Трубкование
60	11.1	12.5	10.6
60-80	11.1-15.7	12.5-19.0	10.6-16.3
80-100	15.7-20.7	19.0-24.6	16.3-21.5
100-120	20.7-26.7	24.6-29.9	21.5-26.5

120-140	26.7-33.8	29.9-36.3	26.5-32.2
140-160	33.8-44.5	36.3-46.1	32.2-40.3

Для расчета необходимо пользоваться формулой ВИУА:

$$DN = 100 * (N_{\text{опт.}} - N_{\text{исх.}}) / A,$$

где DN – расчетная доза азота удобрения, кг/га действующего вещества,

N_{опт.} - содержание нитратного азота в расчетном слое почвы, обеспечивающее планируемый урожай, мг/кг почвы,

N_{исх.} - исходное содержание N-NO₃ в почве в слое 0-40 см, мг/кг,

A - увеличение содержания N-NO₃ в 0-40 см слое почвы от внесения 100 кг/га действующего вещества азота удобрений, мг/кг почвы.

В наших опытах установлено, что от 100 кг азота удобрений содержание его в почве повышается в среднем на 12,3 мг/кг, или от 8,1 кг азота удобрений концентрация нитратного азота в слое 0-40 см увеличивается на 1 мг/кг.

Пример: весной перед посевом в почве найдено 13,7 мг/кг нитратного азота. Оптимальное содержание N-NO₃ в слое почвы 0-40 см, установленное в опытах для получения урожая суданской травы 160 ц/га, должно быть 44,5 мг/кг, то есть нужно внести азота удобрений с расчетом повышения содержания на 30,8 мг. Тогда доза удобрения составит: $30,8 * 8,1 = 249$ кг/га действующего вещества, или: $[(44,5 - 13,7) * 100] / 12,3 = 250$ кг/га.

Таким образом, внесением в почву 250 кг/га азота удобрений в почве создается оптимальный уровень азотного питания для формирования урожая сена суданской травы 160 ц/га.

Таблица 2 . Оптимальное содержание подвижной P₂O₅ в почве, обеспечивающее получение запланированного урожая суданки

Планируемая урожайность, ц/га	Содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы		
	Сроки отбора образцов почвы и фазы роста и развития растений		
	Перед посевом	Всходы	Трубкавание
60	14.0	14.8	10.4
60-80	14.0-17.3	14.8-18.3	10.4-12.5
80-100	17.3-21.4	18.3-22.6	12.5-15.3
100-120	21.4-26.5	22.6-27.5	15.3-19.1
120-140	26.5-31.6	27.5-33.1	19.1-23.2
140-160	31.6-36.6	33.1-38.7	23.2-26.9

Средний норматив затрат фосфора удобрений на увеличение содержания подвижного фосфора в почве на 1 мг/кг в слое 0-30 см нами установлен в 9,7 кг при внесении одного фосфорного удобрения и 7,5-9,5 кг при совместном внесении с азотными удобрениями. При исходном содержании подвижного фосфора 15,3 мг/кг доза фосфорного удобрения составит $[36,6 - 15,3] * 7,5 = 160$ кг/га.

Расчет доз удобрений балансовым методом с использованием полученных в результате опытов оптимальных уровней выноса питательных веществ с единицей урожая и коэффициентов использования азота и фосфора из почвы и удобрений дал несколько другие

дозы: азота было несколько больше – 299 кг/га, а фосфора меньше –135 кг/га. По расчетному варианту вынос азота с 1 тонной урожая составил 23,5 кг, фосфора –8,4кг. Коэффициенты использования: нитратного азота –138%, азота удобрений - 93%, подвижного фосфора – 75%, фосфора удобрений – 66%.

Сорго сахарное

Таблица 3. Оптимальное содержание нитратного азота в почве, обеспечивающее достижение планируемого урожая сорго

Планируемая урожайность, ц/га	Содержание нитратного азота, мг/кг почвы			
	Сроки отбора образцов почвы и фазы роста и развития			
	Перед посевом	Всходы	Кущение	Выметывание
350	14	16	12	9
350-400	14-18	16-22	12-21	9-18
400-450	18-22	22-26	21-26	18-22
450-500	22-26	26-31	26-30	22-26
500-550	26-31	31-35	30-34	26-29
550-600	31-38	35-39	34-39	29-33

В наших опытах установлено, что от 100 кг азота удобрений содержание его в почве повышается в среднем на 12,7 мг/кг, или от 7,9 кг азота удобрений концентрация нитратного азота в слое 0-40 см увеличивается на 1 мг/кг.

Регрессионный анализ позволил установить тесную математическую зависимость между содержанием подвижного фосфора в почве во все сроки определения с продуктивностью сорго (табл. 4)

Таблица 4. Взаимосвязь урожайности сорго и содержания подвижного фосфора в почве

отбора Сроки взятия образцов почвы	Уравнения регрессии	Корреляция	Критерий t
Перед посевом	$Y=1270.87 - 36.71P + 0.454P^2 - 0.0016P^3$	$R=0.922 \pm 0.097$	9.517*
Всходы	$Y= 1625.26 - 46.57P + 0.534P^2 - 0.0018P^3$	$R=0.923 \pm 0.096$	9.590*
Кущение	$Y= 2.608.86 - 84.87P + 1.012P^2 - 0.0037P^3$	$R=0.905 \pm 0.106$	8.527*
Выметывание	$Y= 22516.18 - 88.73P + 1.151P^2 - 0.0045P^3$	$R=0.894 \pm 0.112$	7.974*

Таблица 5. Оптимальное содержание подвижной P_2O_5 в почве, обеспечивающее получение запланированного урожая сорго

Планируемая урожайность, ц/га	Содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы			
	Сроки отбора образцов почвы и фазы роста и развития растений			
	Перед посевом	Всходы	Кущение	Выметывание
350	14,9	15,4	14,9	13,1

350-400	14,9...19,5	15,4...21,0	14,9...20,3	13,1...18,7
400-450	19,5...22,0	21,0...23,3	20,3...22,0	18,7...20,3
450-500	22,0...24,4	23,3...25,4	22,0...23,8	20,3...21,8
500-550	24,4...26,4	25,4...27,4	23,8...25,4	21,8...23,3
550-600	26,4...29,0	27,4...30,3	25,4...27,7	23,3...25,4

Кукуруза на зерно

Между урожаем зерна кукурузы и содержанием нитратного азота в почве перед посевом имеется тесная положительная взаимосвязь, которая описывается уравнением регрессии второго порядка: $Y=24,999+0,32N+0,001N^2$ при $R=0,849\pm 0,132$, где Y-урожай, ц/га, N – содержание нитратного азота в почве, кг/га. В другие сроки определения взаимосвязь также достаточно тесная. На основании теоретических кривых графиков зависимости урожайности кукурузы от содержания в почве нитратного азота в разные фазы роста и развития растений определены оптимальные уровни содержания его для достижения запланированной величины урожая (табл.6).

Таблица 6. Оптимальные уровни содержания нитратного азота в почве, обеспечивающие получение запланированного урожая кукурузы

Планируемая урожайность, ц/га	Содержание нитратного азота в слое 0-60 см, мг/кг почвы		
	сроки отбора образцов и фазы роста и развития кукурузы		
	перед посевом	всходы	5 –7 листьев
35	6.3	7.7	8.1
35...40	6.3 - 9.6	7.7 – 11.9	8.1 – 12.5
40...50	9.6 –17.7	11.9 – 20.0	12.5 – 22.7
50...60	17.7 – 27.3	20.0 – 33.8	22.7 – 35.0
60...70	27.3 – 33.3	33.8 – 51.0	35.0 –52.9
75	41.3	71.2	75.0

При содержании нитратного азота ниже требуемого уровня, соответствующего планируемой урожайности, расчет доз азотных удобрений следует проводить по методу доведения до оптимума (МДОП). Для этого надо пользоваться формулой ВИУА: $D = [(N_{\text{опт.}} - N_{\text{исх.}}) \cdot 100] / A$, где D- расчетная доза азота удобрений, кг/га действующего вещества, Nисх.- исходное содержание N-NO₃ в слое 0-60 см, мг/кг, Nопт. – содержание нитратного азота в слое 0-60 см, обеспечивающее получение запланированного урожая, мг/кг почвы, A – увеличение содержания N-NO₃ в определенном слое почвы от внесения 100 кг/га действующего вещества удобрения. Как установлено в наших опытах, при *совместном* внесении азотных и фосфорных удобрений это увеличение составило в зависимости от доз и соотношений азота и фосфора, в среднем по годам исследований 15,8-10,4 мг/кг, при внесении только *одного* азотного удобрения этот норматив составил 11,0-10,2 мг/кг.

В наших исследованиях установлено, что для повышения содержания доступного фосфора на 1 мг/кг почвы в слое 0-30 см под посевами кукурузы требуется внести в среднем 9,9 кг д.в. фосфорного удобрения. При совместном внесении фосфорных удобрений с азотными норматив затрат фосфора на увеличение содержания подвижной P₂O₅ снижается и составляет в зависимости от доз азота и фосфора 5,0-7,8 кг/мг, что необходимо учитывать при расчете доз удобрений. В наших исследованиях установлена тесная математическая

зависимость между содержанием подвижного фосфора в почве во все сроки определения и продуктивностью кукурузы, что позволило установить оптимальные уровни содержания подвижного фосфора в почве для обеспечения планируемой урожайности (табл.7). Так, для первого срока определения эта зависимость описывается уравнением регрессии третьего порядка: $Y = -105.764 + 15.53P - 0.505P^2 + 0.006P^3$ при $R = 0.844 \pm 0.134$, $t = 6.29^*$.

Таблица 9. Оптимальные уровни содержания подвижного фосфора в почве, обеспечивающие получение запланированного урожая кукурузы

Планируемая урожайность, ц/га	Содержание подвижной P_2O_5 в слое 0-30 см, мг/кг почвы		
	сроки отбора образцов и фазы роста и развития кукурузы		
	перед посевом	всходы	5 –7 листьев
35	14.1	15.1	14.4
35...40	15.9	17.2	16.2
40...50	20.5	22.1	21.0
50...60	26.2	28.5	27.2
60...70	33.8	36.4	35.1
75	38.2	41.3	39.7

Для расчета доз удобрений под планируемый урожай также как и в предыдущих расчетах предлагается использовать формулу ВИУА.

Картофель

В наших исследованиях найдена тесная математическая зависимость между содержанием нитратного азота в почве и урожаем картофеля. Исходя из уравнений регрессии найдены оптимальные уровни содержания азота нитратов в почве, обеспечивающие получение плановой урожайности. Пользуясь таблицей 8, можно с помощью метода доведения до оптимума (МДОП) определить дозу азота при наличии фактического содержания нитратного азота в почве.

Приведенные результаты математической обработки показывают тесную прямую корреляцию между содержанием азота в почве во все сроки отбора образцов (перед посадкой и до уборки), но для расчета доз азотных удобрений можно иметь показатели содержания $N-NO_3$ перед посадкой и довести их до оптимального уровня внесением расчетной дозы, определять содержание нитратного азота можно в слое 0-30 см.

Таблица 10. Оптимальное содержание нитратного азота в почве, обеспечивающее достижение планируемого урожая

Планируемая	Содержание $N-NO_3$, мг/кг почвы в слое 0-30 см			
	Сроки отбора образцов почвы			
	перед насадкой	всходы	ветвления	цветение
120	15	15	13	9
120-150	15-22	15-25	13-22	9-14
150-180	22-29	25-34	22-30	14-18
180-210	29-36	34-43	30-40	18-23

210-240	36-44	43-53	40-45	23-28
240-270	44-52	53-60	45-53	28-32

Согласно приведенным в таблице 8 данным для получения урожая клубней картофеля 240 ц/га в слое почвы 0-30 см перед посадкой должно быть 44 мг/кг нитратного азота или 162 кг/га.

Для расчета необходимо пользоваться формулой ВИУА:

$$Д = 100 \cdot (N_{\text{опт.}} - N_{\text{исх.}}) / A,$$

где Д - расчетная доза азотного удобрения, кг/га,

Нисх. - исходное содержание N-NO₃ слое 0-30 см, мг/кг;

Нопт. - содержание азота нитратов в определяемом слое почвы, обеспечивающее планируемой урожай картофеля, мг/кг;

А - увеличение содержания N-NO₃ в определяемом слое почвы от внесения 100 кг/га азота, мг/кг.

В наших опытах установлено, что от 100 кг азота удобрений содержание его в почве повышается в среднем на 12,6 мг/кг или от 8 кг азота удобрений содержание нитратного азота в слое 0-30 см увеличивается на 1 мг/кг почвы.

Пример: весной перед посадкой картофеля в почве найдено 20 мг/кг нитратного азота. Оптимальное содержание N-NO₃ в слое почвы 0-30 см в этот срок для получения 240 ц/га клубней составляет 44 мг/кг, то есть нужно внести удобрения с расчетом повышения содержания в почве 44-20=24 мг/кг. Тогда доза = 24*8=192 кг/га, или

$$Д = \{(44-20) \cdot 100\} / 12,6 = 192 \text{ кг.}$$

Таким образом, внесением в почву 192 кг/га азота удобрений в почве создается оптимальный уровень нитратного азота для формирования урожая клубней в 240 ц/га.

Известно, что оптимальное насыщение почвы фосфором должно обеспечить не только получение максимальных урожаев, но и систематически повышать плодородие почв. В наших опытах установлена тесная зависимость между содержанием подвижного фосфора в почве и урожайностью картофеля ($R=0,86 \pm 0,12$ перед посадкой). Исходя из уравнений регрессии нами установлены оптимальные уровни содержания подвижного фосфора по фазам роста и развития.

Из таблицы видно, что для получения урожая клубней 240 ц/га нужно иметь к моменту посадки картофеля подвижного фосфора 43 мг/кг или 159 кг/га в слое почвы 0-30 см.

Расчет дозы P₂O₅ ведем также методом доведения до оптимума:

$$Д = \{(P_{\text{опт.}} - P_{\text{исх.}}) \cdot 100\} / A,$$

где - P_{опт.} - содержание подвижного фосфора в определяемом слое почвы, обеспечивающее получение запланированного урожая, мг/кг;

Таблица 11. Оптимальное содержание подвижной P₂O₅ в почве, обеспечивающее получение планируемого урожая

Планируемая урожайность, ц/га	Содержание P ₂ O ₅ , мг/кг почвы в слое 0-30 см			
	Сроки отбора образцов почвы			
	перед	всходы	ветвление	цветение
120	15	20	19	18
120-150	15-21	20-25	19-25	18-23
150-180	21-26	25-31	25-30	23-28

180-210	28-34	31-37	30-38	28-33
210-240	34-43	37-43	38-39	33-37
240-270	43-47	43-48	39-44	37-42

Рисх. - исходное содержание P_2O_5 в слое 0-30 см, мг/кг;

А - увеличение содержания подвижной фосфора от внесения 100 кг/га фосфора удобрений, мг/кг.

Нашими исследованиями установлено, что от 100 кг фосфора внесенных удобрений содержание его в почве повышается в среднем на 10,3 мг/кг или для повышения содержания P_2O_5 в слое почвы 0-30 см на 1 мг/кг нужно внести 9,7 кг/га фосфора удобрений.

Пример: перед посадкой в почве было 20 мг/кг подвижного фосфора. Тогда доза фосфора удобрений должна быть:

$$Д = \{(43-20)*100\}/10.3 = 223 \text{ кг/га, или } 23*9,7=223 \text{ кг.}$$

Для практического применения результатов почвенной диагностики калия можно пользоваться данными таблицы 10.

Таблица 12. Оптимальное содержание обменного калия в почве, обеспечивающее получение планируемого урожая

Планируемая урожайность, ц/га	Содержание K_2O , мг/кг почвы в слое 0-30 см		
	Сроки отбора образцов		
	перед посадкой	ветвление	цветение
120	240	220	180
120-150	240-280	220-250	180-220
150-180	280-320	250-280	220-260
180-210	320-360	280-320	260-290
210-240	360-400	320-350	290-320
240-270	400-440	350-390	320-360

Как видно из таблицы, для получения урожая клубней картофеля в 240 ц/га необходимо иметь к посадке 400 мг/кг обменного калия в слое почвы 0-30 см или 1475 кг/га K_2O , в фазу ветвления эти показатели соответственно – 350 мг/кг и 1300 кг/га.

Для расчета доз калия пользуемся также методом доведения содержания необходимых элементов до оптимума:

$$Д = \{(K_{\text{опт.}} - K_{\text{исх.}})*100\}/A.$$

Для расчета принимаются установленные в наших опытах нормативы повышения содержания обменного калия в почве от внесенных калийных удобрений.

Выявлено, что от внесения 100 кг K_2O удобрений содержание обменного калия в почве в слое 0-30 см повышается на 8 - 8,4 мг/кг, или для увеличения содержания калия на 1 мг/кг надо внести 12,5-11,9 кг K_2O удобрений.

Пример: перед посадкой в почве имеется 23 мг/кг обменного калия. Для достижения урожайности картофеля 240 ц/га следует иметь в почве 400 мг/кг K_2O .

Для расчета доз удобрений под планируемой урожай балансовым методом можно использовать для почв средне обеспеченных азотом, фосфором и калием установленные в наших опытах показатели выноса NPK с единицей продукции и коэффициенты использования питательных веществ из почвы (КИП) и из удобрений (КИУ) (таблицы 11, 12).

Таблица 13.Оптимальные уровни выноса суданкой питательных веществ для расчета доз удобрений, обеспечивающих запланированную урожайность

Планируемая урожайность, ц/га	Вынос элементов питания, кг/т	
	Общий азот	Общий фосфор
60	14,8	5,2
60-80	14,8-15,6	5,2-6,0
80-100	15,6-16,6	6,0-6,6
100-120	16,6-18,0	6,6-7,0
120-140	18,0-20,4	7,0-7,6
140-160	20,4-23,5	7,6-8,4

Таблица 14. Коэффициенты использования азота и фосфора растениями сорго

№ п/п	Варианты опыта	Вынос азота, кг/га	Разница в выносе по сравнению с контролем, кг	КИУ азота, %	Вынос фосфора, кг	Разница в выносе по сравнению с контролем, кг	КИУ фосфора, %
1	Контроль	86			33		
2	P60	106	контроль 2		44	11	18
3	N60	99	13	22	37		
4	N60P60	125	19	32	49	12	20
5	N90P60	150	44	49	57		
6	N120P60	172	66	55	65	контроль 2	
7	N120P60(N60+N60)*	177	71	59	67		
8	N150P60	189	83	55	72		
9	N60P90	147	контроль 3		61	12 (30 кг д.в.)	40
10	N60P120	149			65	16 (60 кг д.в.)	27
11	N90P90	171	27	90	67		
12	N120P90	201	54	90	76	11 (30 кг д.в.)	37

3	1	N150P90	231	83	92	85		
4	1	N120P120	213	4 контроль		87	22 (60 кг д.в)	37
5	1	N180P120	251	38	63	96		
6	1	N210P120	283	70	78	100		
7	1	N240P120	311	98	88	108		
8	1	N262P128- расчетн.	319			111		

Пример: Требуется рассчитать дозы удобрений на урожайность 250 ц/га; в почве легкогидролизуемого азота 8 мг/100 г, фосфора по Мачигину 2,0 мг/100 г, калия по Мачигину 26,0 мг/100 г почвы. По оптимальному варианту N180P180K210 вынос азота, фосфора и калия на 100 ц клубней с соответствующим количеством ботвы соответственно составляет 65 кг, 26 кг и 81 кг.

Коэффициенты использования по этому же варианту из удобрений:

N – 58 %, P₂O₅ - 23%, K₂O - 59%; из почвы: N - 18%, P₂O₅ – 29%, K₂O-8%.

Вынос питательных веществ с урожаем 250 ц/га составляет

N=0.65x250=162.кг, P=0.26x250=65 кг, K= 0.81x250=202 кг.

В почве имеется: N_{пл}=8 мг*30см * 1,23 г/см³=295 кг/га. Будет усвоено растениями: (295 *18)/100=33 кг/га.

Следует обеспечить растения азотом за счет внесения удобрений: 162-33=109 кг N. С учетом коэффициента использования доза азота будет равна (109кг * 100)/58=188 кг.

Для фосфора: в почве имеется 2 мг х 30 см х 1.23 г/см³ =74 кг. Растениями будет усвоено (74 х 29)/100=21 кг.

Следует обеспечить растения за счет внесения удобрений 65-21=44 кг. С учетом коэффициента использования доза фосфора будет равна:

$$Д = (44*100)/23 = 191 \text{ кг}$$

Аналогично проводится расчет доз и по калию. Сравнение доз удобрений, рассчитанных балансовым методом и по методу доведения до оптимума, показывает, что во втором случае мы имеем несколько более высокие показатели по азоту и фосфору..

Таким образом, аналитические данные по почвенной диагностике, а также показатели выноса основных питательных веществ на 100 ц продукции и коэффициенты использования азота, фосфора и калия из почвы и удобрений, полученные в опытах, вполне могут быть приемлемы для расчетных методов определения доз удобрений.

12.2. Растительная диагностика

Результаты исследований, проведенных в наших опытах, показали, что суданская трава очень хорошо отзывается на изменение уровня питания основными элементами.

Такое положение с отзывчивостью на удобрения позволило установить тесные корреляционные зависимости между концентрацией азота и фосфора в растениях и уровнем урожайности суданки.

На основании теоретических кривых графиков установлены оптимальные уровни содержания основных элементов питания, необходимые для получения запланированной урожайности (табл.15).

Таблица 15. Уровни содержания питательных веществ в растениях суданской травы для получения планируемой урожайности

Планируемая урожайность ц/га	Содержание питательных веществ, % на сухое вещество			
	Общий азот		Общий фосфор	
	Кущение	Трубкавание	Кущение	Трубкавание
60	2,84	2,55	1,17	0,87
60-80	2,84-3,28	2,55-2,88	1,17-1,29	0,87-0,96
80-100	3,28-3,70	2,88-3,28	1,29-1,41	0,96-1,05
100-120	3,70-4,14	3,28-3,72	1,41-1,54	1,05-1,15
120-140	4,14-4,60	3,72-4,22	1,54-1,69	1,15-1,26
140-160	4,60-5,38	4,22-4,78	1,69-1,85	1,26-1,39

Приведенные оптимальные уровни содержания азота и фосфора позволяют, используя метод доведения до оптимума (МДОЛ) их содержания в растениях, рассчитать дозы удобрения для внесения их по фазам роста и развития с целью корректировки уровня питания.

В наших опытах установлены нормативы затрат удобрений на повышение содержания элементов питания на 0,1%: азота - в фазу кущения – 11-14 кг/га, в фазу трубкавания – 14-17 кг/га, фосфора - в фазу кущения – в среднем 30 кг/га, в фазу трубкавания – 42,0 кг/га.

Пример: В фазу кущения в растениях суданской травы имеется 4,14% общего азота. Этого достаточно для получения урожая 120 ц/га; для уровня урожайности 160 ц/га следует иметь 5,38%. Разницу можно восполнить внесением азотного удобрения в подкормку под полив. Доза удобрения в действующем веществе, исходя из среднего норматива затрат в эту фазу 12,0 кг/га, составит :

$$Д = (5,38 - 4,14) \cdot 12 \cdot 10 = 148 \text{ кг/га.}$$

Аналогично проводится расчет для фосфора.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите методы расчёта доз удобрений
2. Что понимается под термином «оптимальный уровень содержания питательных веществ в почве и растениях?
3. В чём сущность балансового метода расчёта доз удобрений?
4. Какие параметры надо знать для расчёта доз удобрений методом доведения до оптимума?
5. Что такое норматив затрат питательных веществ?
6. В какие фазы роста и развития растений следует проводить почвенную диагностику питания растений?
7. Как отличаются сроки и фазы взятия почвенных и растительных образцов в богарных и орошаемых условиях?
8. Как устанавливаются оптимальные уровни содержания питательных веществ в почве и растениях?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. Агрохимические методы исследования почв. — М. 1975.

2. Болдырев Н.К. Анализ растений как метод определения потребности растений в удобрениях / Н.К. Болдырев— Омск, - 1970.125 с.
3. Болдырев, Н.К. Комплексный метод листовой диагностики условий питания, величины и качества урожая сельскохозяйственных культур/ Н.К. Болдырев. //Автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук. М., 1972. - 53 с.
4. Болдырев Н.К. Использование нормативных показателей в методе листовой диагностики для расчета норм удобрений на запланированный урожай пшеницы.// Агрохимия.1983.- №2. - С.105-113.
5. Волков, Е. Д. Методика проведения листовой диагностики минерального питания яровой пшеницы./ Е. Д.Волков. — Шортанды, -1970. 16 с.
6. Волков, Е. Д. Листовая диагностика минерального питания яровой пшеницы./ Е. Д. Волков— В кн.: Вопросы повышения продуктивности зерновых культур. - Иркутск, ,1974.- С.21-25.
7. Перечень показателей свойств почв для оценки почвенного плодородия и методы их определения. М: 1981. 48 с.
8. Церлинг, В. В. Как узнать по внешнему виду, в чем нуждается растение./ В.В. Церлинг, - М., - 1964.
9. Церлинг, В. В., Горшкова, М. А. Методические указания по диагностике минерального питания кормовых, овощных и полевых культур/В.В.Церлинг, М. А Горшкова- М., -1972.
10. Церлинг,В.В. Агрохимические основы диагностики питания сельскохозяйственных культур./В. В. Церлинг— М., -1978.
11. Церлинг, В. В., Горшкова, М. А., Толстоусов, В. П. Методические указания по растительной диагностике зерновых культур/В.В.Церлинг, М.А.Горшкова, В. П.Толстоусов,.-М., -1980.
12. Церлинг В.В. Некоторые аспекты взаимодействия ионов в растениях и их значение при определении потребности сельскохозяйственных культур в питательных веществах // Бюлл. почвенного ин-та им. В.В. Докучаева, 1987, вып.43.

Дополнительная

1. Чуб, М.П. Оптимизация минерального питания культур и система удобрений в севооборотах на черноземах и темно-каштановых почвах засушливого Поволжья: автореф. дисс. ...д-ра с.-х. наук./ М.П. Чуб. -М., 1989, - 48 с.

РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ В СЕВООБОРОТЕ

13.1. Влияние обеспеченности почвы доступными формами питательных веществ на расчёт доз удобрений

Продуктивность сельскохозяйственных культур обуславливается многими факторами, оказывающими как положительное, так и негативное влияние на их рост и развитие.

Поэтому для получения высоких урожаев важно контролировать состояние их посевов и с помощью соответствующих агротехнических мероприятий управлять ростом и развитием сельскохозяйственных культур, воздействуя на почву и растения таким образом, чтобы снизить отрицательные и усилить положительные действия факторов жизни.

Основной задачей системы удобрения является управление питанием и продукционным процессом сельскохозяйственных культур с целью повышения их урожайности. Под управлением продуктивностью посевами понимают совокупность мероприятий направленных на реализацию потенциальных возможностей сорта (гибрида) путем целенаправленного регулирования пищевого, водного, воздушного, светового и теплового режимов почвы. Управление состоянием посевов сельскохозяйственных культур осуществляется посредством использования минеральных, органических удобрений и мелиорантов, регуляторов роста растений, пестицидов для борьбы с сорняками, болезнями и вредителями, а также применения комплекса машин.

Из-за большого разнообразия почвенных и погодных условий ключевые приемы управления посевами также значительно варьируют. Даже в одном и том же хозяйстве для каждого поля и вида сельскохозяйственных культур в разные годы необходимо принимать разные агротехнические решения.

Глубокие знания биологических особенностей возделываемых культур и характера действия основных факторов, обуславливающих формирование урожая в данных почвенно-климатических условиях, анализ и оценка состояния посевов на поле, позволяют определить тактику управления продукционным процессом с помощью агротехнических приемов.

Получение планируемых урожаев сельскохозяйственных культур в значительной мере обуславливается уровнем обеспеченности растений элементами питания, наиболее важным источником которых являются удобрения. В этой связи первостепенной задачей системы удобрения является оптимизация питания растений при минимальных затратах удобрений. Высокая их эффективность может быть достигнута лишь в том случае, когда внесение элементов питания, лимитирующих рост и развитие растений, полностью компенсирует дефицит питательных веществ в почве и соответствует нуждаемости в них растений.

Система удобрений — это комплекс (совокупность взаимосвязанных) агрономических и организационных мероприятий направленных на рациональное применение минеральных, органических удобрений и мелиорантов с целью получения высоких устойчивых урожаев хорошего качества, поддержание или повышение плодородия почвы и снижение опасности загрязнения окружающей среды. Система удобрения является неотъемлемой составной частью бизнес плана и системы ведения хозяйства.

Систему удобрения можно рассматривать на уровне крупного агропромышленного объединения (холдинга), хозяйства, в том числе тепличного, севооборота, поля, а также отдельного земельного участка занятого лугом и пастбищем, многолетними плодовыми или ягодными насаждениями. В узком плане объектом системы удобрения могут быть отдельные культуры.

Система удобрения хозяйства предусматривает оптимальное решение следующих вопросов: определение необходимого количества отдельных видов удобрений на планируемый урожай по объектам землепользования и в целом по хозяйству на ближайшую перспективу (4-6 лет); приобретение и хранение минеральных удобрений, накопление органических удобрений; параллельно должны решаться вопросы технического обеспечения применения удобрений: подготовку техники для транспортировки и внесения удобрений; приготовление тукосмесей; проведение диагностики питания растений; контроль за соблюдением агрономических и экологических требований к их внесению; уход за посевами; определение эффективности применения отдельных видов удобрений и в целом системы удобрения в хозяйстве. Система удобрения хозяйства предусматривает также мероприятия по эффективному экологически безопасному использованию химических средств защиты растений от вредителей и болезней и регуляторов роста.

При разработке системы применения удобрений следует учитывать зональные почвенно-климатические условия, агротехнические и биологические особенности возделываемых сельскохозяйственных культур.

Основной задачей системы удобрения хозяйства является повышение продуктивности возделываемых культур на основе рационального использования удобрений, как в агрономическом, так и экологическом аспектах.

Система удобрения в хозяйстве характеризуется количеством применяемых на 1 га пашни или сельскохозяйственных угодий минеральных (кг/га) и органических (т/га) удобрений. Например, на 1 га пашни в хозяйстве вносится в среднем за год 8 т органических удобрений и 140 кг NPK.

Наиболее важными показателями системы удобрения в хозяйстве являются: урожайность, объем производства и качество растениеводческой продукции, количество вносимых органических (т/га) и отдельных видов минеральных удобрений (кг/га д. в.).

Систему удобрения разрабатывают, как правило, на ротацию севооборота полевых культур или период использования лугов, пастбищ, ягодных культур и ежегодно корректируется в годовых и календарных планах применения удобрений с указанием доз, форм, сроков и способов их внесения под отдельные культуры с учетом различий плодородия отдельных полей, реального размещения культур по полям, конъюнктуры рынка, хозяйственных и погодных условий. Для оценки системы удобрения в хозяйстве используют показатели агрономической и экономической эффективности применения удобрений. Об уровне этих показателей в севооборотах и в целом в хозяйстве судят по окупаемости 1 кг д. в. (в кормовых единицах) минеральных и 1 т органических удобрений прибавкой урожая возделываемых культур. Об экономической эффективности системы удобрения судят на основании чистого дохода с 1 га пашни и рентабельности применения удобрений.

При разработке систем удобрений в севооборотах хозяйства преследуются следующие основные задачи:

- управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур с целью получения планируемых или максимально возможных урожаев хорошего качества при минимальных затратах средств и времени;
- повышение или поддержание на должном уровне плодородия почвы почв в агроценозах;
- утилизация отходов животноводства и растениеводства;
- охрана окружающей среды.

Наряду с этим, определяют экономически и экологически целесообразные уровни интенсификации сельхозугодий. При составлении системы удобрения в севообороте следует учитывать зональные особенности технологий возделывания сельскохозяйственных культур, и предусмотренные в них почвозащитные мероприятия и способы обработки почвы.

В зависимости от плодородия почвы и особенностей рельефа подходы к разработке системы удобрения в отдельных севооборотах хозяйства могут заметно различаться, однако во всех случаях обязательным требованием к ним являются:

- наличие результатов агрохимического обследования всех полей в виде картограмм или паспортов полей и участков;
- учет биоклиматического потенциала зоны;
- определение реально возможной продуктивности сельскохозяйственных культур с учетом климатических, агрохимических, организационно-экономических условий хозяйства;
- определение выхода в хозяйстве органических удобрений и возможностей их накопления за счет компостов, сидератов, соломы и т. п.;
- обоснование оптимальных доз минеральных и мест внесения органических удобрений в севообороте под отдельные культуры;
- обоснование необходимости известкования (гипсования) и определение оптимальных доз и мест внесения мелиорантов в севообороте.

Система удобрения в севообороте представляет собой научно обоснованный план применения удобрений, составляемый, как правило, на ротацию севооборота, с учетом биологических особенностей возделываемых культур, планируемой урожайности, агрохимических свойств почвы, ее гранулометрического состава, характера трансформации удобрений в почве, предшественников и климатических условий. В плане применения удобрений в севообороте предусматривается наиболее рациональное их распределение между культурами.

Дозы удобрений при разработке системы удобрения в севообороте рассчитывают обычно по средневзвешенному содержанию подвижных форм элементов питания (N , P_2O_5 и K_2O) в почве севооборота. В плане применения удобрений отражаются распределение органических и минеральных удобрений между культурами севооборота, дозы и сроки внесения, с целью получения планируемой урожайности всех культур севооборота, повышения или поддержания плодородия почвы и предотвращения загрязнения окружающей среды, обеспечивая при этом лучшие условия минерального питания ведущим (более рентабельным) культурам, имеющие повышенный рыночный спрос.

Система удобрения лугов, пастбищ, многолетних плодовых и ягодных культур разрабатывается на период их использования. Система удобрения отдельных культур, как и культур в севообороте, предусматривает определение оптимальных доз, сроков, форм и способов применения минеральных, органических удобрений и мелиорантов, а также их окупаемость.

Дозы минеральных и органических удобрений согласно системе ежегодно корректируют в годовых планах с учётом сложившихся погодных условий, размещения культур по полям севооборота, фактического плодородия почв полей и их предшествующей удобренности с указанием, дозы (кг/га), срока и способа внесения элементов питания и конкретных удобрений.

На основании годового плана составляется календарный план применения минеральных, органических удобрений и мелиорантов с указанием потребности в них за сезон на каждый севооборот и всего хозяйства, что позволяет определить объём складов для хранения удобрений. Дозы и сроки внесения азотных удобрений в годовых и календарных планах корректируют по результатам почвенной и растительной диагностики или рекомендациям.

Важнейшим показателем системы удобрения в севообороте является насыщенность (обеспеченность) севооборота удобрениями — среднегодовое количество применяемых на 1 га пашни (сельхозугодий) минеральных (кг/га) и органических (т/га) удобрений. В экономическом аспекте систему удобрения в севообороте характеризует окупаемостью в

кормовых единицах 1 т органических и 1 кг д. в. минеральных удобрений урожаем всех культур севооборота.

Критерием обоснованности системы удобрения наряду с экономической эффективностью является баланс элементов питания, состояние которого позволяет прогнозировать возможные изменения содержания питательных веществ в почве и контролировать экологическую ситуацию агроландшафтов.

Требования к балансу элементов питания в севообороте обуславливаются уровнем урожайности, плодородием почвы и планируемым изменением агрохимических показателей почвы за ротацию.

В зависимости от экономического состояния хозяйства и требований к почвенному плодородию баланс элементов питания может быть положительным, нулевым или отрицательным. При благоприятном экономическом состоянии хозяйства баланс азота в каждом севообороте должен быть положительным, уравнивающим его потери из почвы в результате денитрификации и вымывания нитратов.

Баланс фосфора и калия в зависимости от уровня их содержания в почве в доступной форме, на отдельных этапах землепользования может быть положительным, нулевым и отрицательным. Если содержание подвижного фосфора и обменного калия в почве соответствует уровню продуктивности возделываемых культур, баланс их должен быть нулевым, если содержание элементов питания в почве низкое и лимитирует продуктивность культур севооборота, то их баланс должен быть положительным, а на хорошо окультуренных почвах целесообразно поддерживать отрицательный баланс питательных веществ.

На бедных почвах баланс фосфора и калия должен быть в той или иной степени положительным. Система удобрения должна гармонично сочетать применение органических и минеральных удобрений. При использовании только минеральных или одних органических удобрений нельзя добиться максимальной продуктивности культур севооборота. Продуктивность севооборота значительно возрастает при совместном применении минеральных удобрений и ограниченных удобрений.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое система удобрений?
2. Задачи системы применения удобрений.
3. Научные принципы построения системы удобрений.
4. Для чего строятся годовые планы применения удобрений?
5. Учитывается ли почвенное плодородие при проектировании систем удобрений?
6. Виды систем удобрений.
7. Составные части системы удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. 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

Дополнительная

1. Система удобрений: В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко: учебник / В.Н. Ефимов. - М.: КолосС, 2003. – 320 с.

ПРОБЛЕМА ГУМУСА В ПОЧВЕ И ПУТИ ЕЁ РЕШЕНИЯ

14.1. Снижение содержания гумуса в основных типах почв РФ

Гумус - это стабильные органические соединения, сохраняющиеся в почве длительное время.

Процентное содержание гумуса, мощность гумусированного слоя и состав гумуса – наиболее важные показатели плодородия почв.

В естественных условиях гумификация растительных остатков в почве осуществляется не только микробами и дождевыми червями, но и многими другими фитосапрофитами. Они создают мелкозернистость и рыхлость, влияют на физические свойства и структуру, на химические процессы, приводят к смешению химических элементов, их аккумуляции и стабилизации в форме гумусовых веществ, определяющих почвенное плодородие. Чем больше гумуса в почве, тем лучше водный, воздушный и тепловой режимы плодородного слоя, тем лучше питание растений, тем активнее идет образование нитратов и углекислоты, необходимых для фотосинтеза и фиксации атмосферного азота свободноживущими в корнеобитаемом горизонте микроорганизмами. Физико-химическое взаимодействие новообразованных гумусовых кислот с минералами предохраняет их от быстрого вовлечения в биохимический кругооборот и способствует закреплению гумуса в почве.

Органические вещества растительных остатков с помощью бактерий и червей превращаются в гумусные кислоты и фульвокислоты. В растительных остатках содержатся и так называемые зольные элементы - различные металлы, кремний и т.д. Гумусные кислоты и фульвокислоты взаимодействуют с металлами и образуют соли - гуматы и фульваты. Гуматы лития, калия, натрия растворимы, легко вымываются водой. Они же представляют наиболее ценную часть гумуса, легко доступную растениям. Гуматы кальция, магния, кремния и тяжелых металлов нерастворимы и составляют ту часть гумуса, которую можно назвать консервами почвенного плодородия. Они накапливались в черноземах весь послеледниковый период. Эти гуматы способны растворяться под влиянием ферментов корневой системы растений, но в количествах, удовлетворяющих только их потребность. Они не подвержены гидролизу, но оказывают большое влияние на создание агрономически ценной, связной, водопрочной и пористой структуры, не подверженной влиянию эрозийных воздействий.

Особо следует подчеркнуть, что гуматы тяжелых металлов еще более устойчивы к гидролизу ферментами корневой системы растений и практически не усваиваются ими. Это есть главное экологическое свойство гумуса - связывание тяжелых металлов в почве и предохранение всего живого на Земле от их токсического воздействия, в том числе от тяжелых радионуклидов! Это защитное свойство столь же важно для всего живого, как и защитное свойство озонового слоя вокруг Земли. Чем больше гумуса в почве, тем ярче выражено такое буферное свойство почв: пищевая и кормовая продукция, выращенная на высокогумусных почвах, является экологически чистой.

Гумус - это "хлеб для растений". В нем сосредоточено 98% запасов почвенного азота, 60% фосфора, 80% калия и содержатся все другие минеральные элементы питания растений в сбалансированном состоянии по природной технологии. В инертном гумусе пахотного слоя заключено до 87,5% энергии.

Наиболее богаты гумусом черноземы, где богатая травянистая растительность и активная деятельность микроорганизмов и дождевых червей способствуют обильному образованию гумусовых веществ, а высокое содержание глинистых минералов обеспечивает их закрепление в почве. Так формировался гумусовый фонд почвы - итоговый результат

длительных (десятилетия и столетия) и разнообразных процессов разложения и консервации веществ растительного и микробного происхождения.

Запасы гумуса в почвенном покрове земли распределены неравномерно: больше всего его в черноземах луговых степей - от 400 до 700 т/га, меньше - в почвах тундр и пустынь - всего 0,6...0,7 т/га.

Гумус не только участвует в снабжении растений азотом, фосфором, калием и другими важными макро- и микроэлементами питания, неоспорима его роль и в других важнейших процессах почвообразования и обеспечения плодородия почв, таких, как предохранение почв от выветривания, создание их гранулярной структуры, снабжение растений необходимой для фотосинтеза углекислотой, биологически активными ростовыми веществами. Поэтому сохранение и преумножение запасов гумуса - одна из первоочередных задач земледельцев.

Агрономическая ценность гумуса в значительной степени определяется соотношением содержащихся в нем гуминовых кислот и фульвокислот. При преимущественном синтезе гуминовых кислот в почвах формируется четко выраженный гумусовый горизонт, обладающий высоким плодородием. Такие почвы характеризуются водопрочной, водоемкой структурой и гидрофильностью, богаты органическими формами азота, фосфора и других элементов питания растений.

При интенсивном образовании фульватного гумуса почвы легко обедняются щелочными катионами и другими элементами, приобретают кислую реакцию среды, обеструктурируются. Повышение плодородия этих почв связано с длительным окультуриванием и внесением больших доз биогумуса (до 100 т/га).

В гумусе сосредоточено огромное количество энергии. При расчете ее теплотворная способность гумуса для всех типов почв условно принимается равной 4000 калорий на 1 г. Из изученных почв по энергетике гумуса резко выделяется чернозем - 20000 калорий в призме сечением 1 см² и мощностью до 300 см. Гумус других типов почв характеризуется значительно меньшими запасами энергии - 4000...8000 калорий в том же объеме почвы. Если сравнить содержание энергии на 1 га земли, имеющем запас энергии в призме 4000 малых калорий, то общий ее запас сопоставим с 50000 л бензина, а на черноземах - 250000 л.

Огромные запасы аккумулированной в гумусе энергии играют чрезвычайно важную роль в самых разнообразных почвенных процессах. Гумус - основной источник энергии для процессов превращения в почве минеральных соединений, биосинтетических реакций, жизнедеятельности микроорганизмов, роста и формирования растений и т.д. Черноземы, как было отмечено, характеризуются преобладающей аккумуляцией энергии в гумусе (88% суммы энергии в гумусе и растительном веществе), что хорошо согласуется с выдающимся и устойчивым плодородием черноземов.

Хорошо изучена важная роль гумусовых веществ как физиологически активных соединений для растений. Высокогумусированные почвы отличаются более высоким содержанием физиологически активных веществ. Гумус активизирует биохимические и физиологические процессы, повышает обмен веществ и общий энергетический уровень процессов в растительном организме, способствует усиленному поступлению в него элементов питания, что сопровождается повышением урожая и улучшением его качества.

Еще более существенна роль гумуса в увеличении отдачи при умелом применении химических удобрений, эффективность его при этом увеличивается в 1,5...2 раза. Однако необходимо помнить, что химические удобрения, внесенные в почву, вызывают усиленное разложение гумуса, что приводит к снижению его содержания.

Практика современного сельскохозяйственного производства показывает, что повышение содержания гумуса в почвах является одним из основных показателей их окультуривания. При низком уровне гумусовых запасов внесение одних минеральных удобрений не приводит к стабильному повышению плодородия почв. Более того, применение высоких доз

минеральных удобрений на бедных органическим веществом почвах часто сопровождается неблагоприятным действием их на почвенную микро- и макрофлору, накоплением в растениях нитратов и других вредных соединений, а во многих случаях и снижением урожая сельскохозяйственных культур.

14.2. Пути увеличения содержания гумуса в почве

Потеря гумуса ухудшает азотное питание растений, приводит к ухудшению структуры почвы, увеличению ее плотности, уменьшению запасов продуктивной влаги, снижению микробиологической активности живой фазы почвы.

Эту проблему можно решить, если использовать в качестве органики солому и посевы сидеральных культур.

При заделке в почву одной тонны соломы образуется 170...190 кг гумуса. Однако солома разлагается медленно. Для ускорения этого процесса надо вносить минеральный азот 8...10 кг д.в. (20-22 кг мочевины) в расчете на 1 т. соломы.

Озимые культуры способны давать до 5 т. соломы на гектаре посева. Для удобства заделки соломы в почву ее надо измельчить при уборке и разбрасывать по полю (вместо копнителя на зерноуборочный комбайн надо навешивать измельчитель соломы). Если комбайны не оборудованы измельчителями, то солому кладут в валки, а потом измельчают косилками измельчителя (Е-280, 281, КИР-1,5 и др.).

Измельченную солому надо заделывать на глубину 10...12 см с помощью дисковых рабочих органов (тяжелые бороны БДТ-2,2, луцильники ЛД-5(10), что ускорит ее минерализацию и предотвратит накопление фенольных соединений в почве, а затем через две недели запахивать на полную глубину пахотного горизонта. Это мероприятие способно обеспечить ежегодное увеличение гумуса в почве на 700 кг/га.

Другим источником поступления органического вещества, а, следовательно, и гумуса, должен быть сидерат.

Сидерация - это выращивание зеленых растений с целью заделки их в почву на зеленое удобрение.

Сидераты, как правило, выращивают в паровом поле севооборота. Основной культурой для этих целей является люпин, но могут быть и другие, в первую очередь бобовые культуры.

Бобовые культуры кроме того, что образуют большую вегетативную массу, способны брать азот из воздуха и фиксировать его в почве. Заделка люпина в паровом поле (занятой пар) равноценна внесению 70 т. навоза на 1 га пашни. Действие сидерального пара проявляется и на последующие культуры. Общий урожай четырехпольного севооборота повышается на 45% по сравнению с таким же севооборотом, но с чистым неудобренным паром.

На зеленое удобрение люпин (яровой) высевают в занятых парах. Под посев поле пашут осенью; перед вспашкой можно внести фосфорно-калийные удобрения из расчета 45 кг д.в. P_2O_5 и 60 кг д.в. K_2O на 1 га. Для улучшения азотофиксации семена перед посевом следует обработать нитрагином. Глубина заделки семян на суглинистых почвах 2-3 см, на супесчаных - больше. Для предотвращения травмирования семян высевашающий аппарат настраивают на верхний высеv. Заделывают зеленые растения в почву в стадии цветения (при созревании семена осыпаются). Вегетативная масса может быть 25...30 т/га, поэтому для заделки ее в почву целесообразно использовать сначала тяжелые дисковые бороны типа БДТ-2,2 в двух взаимоперекрестных направлениях, а потом уже запахивать на полную глубину плугами.

Для этих целей можно использовать многолетний люпин. На третий год жизни он способен образовать до 60 т/га зеленой массы. На зеленое удобрение его подсевают к яровым культурам (ячмень, овес), замыкающим севооборот (как клевер). После уборки покровной

культуры (ячмень, овес) люпин остается на поле в фазе розетки листьев, с весны начинает энергично расти и во время цветения его также, как и яровой, запахивают в почву.

В качестве сидеральных культур могут использоваться сераделла, клевер, донник, горчица белая, гречиха, рожь.

Совместное использование этих приемов в земледельческой практике способно обеспечить положительный баланс гумуса (увеличение его запасов) в почве - повышать запас питательных веществ, снижать кислотность, улучшать агрофизическое состояние почвы без внесения больших доз органических и минеральных удобрений. Создание естественного плодородия выше исходного уровня есть расширенное воспроизводство.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое гумус почвы?
2. Поведение гуматов в почве и их влияние на почвенное плодородие.
3. Как рассчитать запасы гумуса в почве?
4. Как повысить содержание гумуса в почвах?
5. Влияние соломы и сидератов на гумусообразование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. 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

Дополнительная

1. Система удобрений: В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко: учебник / В.Н. Ефимов. - М.: КолосС, 2003. – 320 с.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛОКАЛЬНОГО ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ

15.1. Способы локального внесения минеральных и органических удобрений

Выбор наиболее рациональных способов внесения удобрений является важным фактором, определяющим лучшую доступность питательных веществ для корневых систем растений. Для повышения производительности труда и снижения трудо- и энергозатрат внесение удобрений желательно совмещать с другими работами (вспашкой, посевом, междурядными обработками почвы и т. д.).

Способы внесения минеральных удобрений можно разделить на две группы: разбросные (если это не подкормка) с последующей вспашкой, дискованием, культивацией или боронованием и локальные - внесение удобрений на заданную глубину в виде ленты или очагов (гнезд). При разбросном внесении достигается сильное перемешивание удобрений с почвой, при локальном - перемешивание обычно выражено намного слабее, в пахотном слое образуются сильно удобренные прослойки.

Разбросное внесение удобрений.

Качественное распределение удобрений по поверхности почвы может быть достигнуто при внесении их технически исправными машинами и соблюдении режима работы рассеивающих аппаратов. Перед началом работы и в процессе её выполнения проверяют техническое состояние машин, регулируют и настраивают их на заданную дозу и допустимую неравномерность внесения, определяют рабочую ширину захвата машины. При этом определяют натяжение ветвей подающего рабочего органа - транспортёра, частоту вращения рассеивающих дисков, лёгкость перемещения туконаправителя в положении "вперёд" и "назад".

Равномерность распределения удобрений по ширине захвата машины зависит от правильной настройки её высевальных аппаратов, регулировки места подачи удобрений на диски. Симметричности распределения удобрений относительно продольной оси машины добиваются перемещением туконаправителя (вперёд-назад) и изменением положения его шарнирных стенок.

Перемещение туконаправителя вперёд по ходу движения агрегата, а также поворот его шарнирной стенки к периферии рассеивающего диска увеличивает концентрацию удобрений в средней части удобряемой полосы. Перемещение туконаправителя назад, а также поворот его шарнирной стенки к центру рассеивающего диска увеличивает концентрацию удобрений по краям полосы. Выдвигать туконаправитель назад более чем на 20-25 мм от оси диска не рекомендуется.

При подготовке машин к работе (ежедневно) рабочие органы очищают от удобрений. Особенно тщательно следует очищать лопатки центробежных дисков, так как при работе дисков с налипшими на лопатках удобрениями рабочая ширина машины может снизиться в 2 раза.

Рабочая ширина захвата машин с центробежными рассеивающими аппаратами зависит от физико-механических свойств минеральных удобрений и, прежде всего, от их гранулометрического. Так, при внесении мелкокристаллических удобрений она в 2,5-3 раза меньше по сравнению с использованием гранулированных туков. Рабочая ширина захвата машин также зависит от конструктивных параметров рассеивающих дисков и частоты их вращения.

При использовании пылевидных удобрений и известковых материалов учитывают силу и направление ветра. Более равномерное их распределение по поверхности поля и нормальные условия работы обслуживающего персонала обеспечиваются при движении агрегата поперёк направления ветра.

Качество внесения удобрений характеризуют следующие показатели: соответствие фактической дозы удобрений заданной; равномерность рассева удобрений по поверхности почвы. В соответствии с агротехническими требованиями фактическая средняя доза удобрений должна отличаться от заданной не более чем на $\pm 10\%$. Качество распределения удобрений по поверхности почвы характеризует измерение соотношений питательных элементов $N:P_2O_5$, $N:K_2O$ и $P_2O_5:K_2O$ на учётных площадках размером 0,5х0,5 м.

Локальное внесение удобрений.

Локальное (ленточное) внесение удобрений характеризуется высоким качеством распределения питательных веществ в почве, что обусловлено использованием на машинах для осуществления этого приёма более совершенных механических, пневмомеханических или пневматических высевающих аппаратов. Неравномерность распределения удобрений при локальном внесении не превышает 8-10%.

При локальном внесении исключается свойственное разбросному способу неконтролируемое смешивание удобрений с почвой. Степень смешивания определяется конструкцией рабочих органов и их настройкой.

Концентрация элементов питания растений в местах их внесения в десятки и даже сотни раз может превосходить содержание их в почве при разбросном способе.

В оподзоленном черноземе через год после внесения $N90P90K90$ локальным способом в ленте в прилегающем слое почвы (2 см) содержалось 46 мг/100 г почвы P_2O_5 и 16 - K_2O , через 2 года эти показатели были соответственно 37 и 18 мг/100 г почвы. Степень подвижности фосфатов через 6 месяцев после внесения $N90P90K90$ локальным способом в черноземе оподзоленном была выше в 7 раз, а в черноземе типичном - в 18 раз, чем при разбросном методе.

Таким образом, высокое содержание элементов питания в почве в доступном для растений состоянии при локальном внесении удобрений сохраняется в течение длительного времени, обеспечивая более существенные приросты урожая в прямом действии и последствии.

Локальное внесение удобрений определённым образом влияет на формирование корневой системы растений, их питание, развитие и создание нового урожая. При локальном способе рост корней в области внесения удобрений усиливается, но общая масса их может изменяться незначительно или остаётся прежней, и развитие корневой системы в основном происходит в обогащённых питательными веществами зонах. В контакт с очагом удобрения входит часть корневой системы растения, которую можно разделить на две подсистемы с разным солевым статусом - высокосолевым и низкосолевым. Высокосолевые корни участвуют (на 70-80%) в обеспечении надземной части растения элементами питания, а низкосолевые - водой. Такая специализация корней улучшает снабжение растений элементами питания и водой. Формирование вторичной корневой системы в этих условиях особенно благоприятно для злаков в условиях засухи, а также в регионах с укороченным периодом вегетации растений.

Локальное внесение удобрений усиливает способность сельскохозяйственных культур противостоять засухе, значительно снижает недобор урожая, положительно влияет на отложение запасных веществ. Водопотребление растений на единицу продукции при локальном внесении снижается на 10-15%.

В связи с повышением коэффициентов использования питательных веществ при ленточном внесении оптимальные дозы удобрений снижаются на 25-50%. Под основные

сельскохозяйственные культуры в большинстве природно-экономических районов страны наиболее эффективны дозы 30-90 кг/га.

Повышение оптимальных доз удобрений при локальном внесении снижает урожай более существенно, чем при разбросном. В связи с этим ленточное внесение предъявляет высокие требования к качеству распределения удобрений по равномерности их высева и устойчивости их дозирования.

Агротребования.

К важнейшим агротребованиям при внесении удобрений относятся: обеспечение заданной нормы; равномерность распределения их по площади с распределением удобрений в почве на заданной глубине. При внесении удобрений одновременно с посевом должна быть выдержана почвенная прослойка между семенами и удобрениями.

Машины для внесения удобрений.

Для основного внесения минеральных удобрений промышленность выпускает разбросные туковые сеялки и центробежные разбрасыватели. Этими машинами рассеивают главным образом минеральные и известковые удобрения.

Широкое применение на внесении минеральных удобрений получили центробежные разбрасыватели РУМ-4,0, РУН-5-10, РУП-5-10, 1-РМГ-4, КСА-3, РУМ-8, навесной НРУ-0,5, разбрасыватель пылевидных удобрений АРУП-8 на шасси автомобиля и РУП-8, -16, агрегируемые с тракторами Т-150К и К-700. Лучшее качество работ обеспечивает сеялка РТТ-4,2.

Применяемые в настоящее время разбрасыватели органических удобрений можно разделить на две группы: тракторные прицепные кузовного типа и навесные с роторными рабочими органами. К первой группе относятся разбрасыватели 1-ПТУ-4, РОУ-6, РПН-4, а также повышенной грузоподъемности - КСО-9 (ПРТ-10) и ПРТ-16, ко второй - разбрасыватели роторного типа РУН-15А и -15Б.

Для внесения жидких удобрений в сельском хозяйстве применяются два типа жиже-разбрасывателей: прицепные - РЖВ-1,8, ЗУ-3,6, РЖТ-8 и автомобильный - РЖУ-3,6.

Для внесения минеральных удобрений применяют комплексы машин, работающие по прямоточной и перегрузочной технологиям.

Если радиус перевозки до 3 км, целесообразна прямоточная технология-транспортировка и рассев удобрений разбрасывателями кузовного типа (рис. VI. 1, а). Если путь перевозки больше 3 км, применяют перегрузочную технологию-удобрения перевозят на автомобиле-перегрузчике САЗ-3502 или на загрузчике ЗСА-40 и перегружают в кузов разбрасывателя.

Удобрения можно также транспортировать автосамосвалами или тракторными прицепами и перегружать в кузовные разбрасыватели при помощи передвижной эстакады.

На мелкоконтурных участках с площадью до 6 га удобрения целесообразно вносить навесным разбрасывателем, к которому присоединяют загруженный удобрениями двухосный тракторный прицеп. На поле прицеп отсоединяют, а из него периодически загружают разбрасыватель.

Пылевидные удобрения и известь вносят по прямоточной и перегрузочной технологическим схемам. При прямоточной технологии разбрасыватели транспортируют и разбрасывают туки, а при перегрузочной удобрения перегружают в цистерны разбрасывателей.

Органические удобрения вносят по схемам: ферма - поле или ферма- бурт - поле.

По схеме ферма - поле, если дальность перевозки меньше 3 км, удобрения транспортируют и разбрасывают навозоразбрасывателями. Если удаленность поля больше, применяют перевалочную схему ферма - бурт - поле.

В каждой из схем агрегаты могут работать одним из трех способов: прямоточным, перегрузочным и двухфазным. При прямоточном способе загруженный разбрасыватель

транспортирует удобрения на поле и разбрасывает их. Способом перегрузки удобрения разбрасывают специальным разбрасывателем, который загружают самосвальными транспортными средствами.

При двухфазном способе перепревший навоз укладывают на поле в кучи и разбрасывают валкователем-разбрасывателем.

Жидкие удобрения вносят прямоточным или перегрузочным способом.

Технологический комплекс подготовки и внесения удобрений включает машины, основные технические характеристики которых указаны в таблице.

Агротехнические требования. Неравномерность высева минеральных удобрений, известия, гипса туковыми сеялками не должна превышать $\pm 15\%$, разбрасывателями - $\pm 25\%$, разбрасывания навоза - 25-30%. Влажность засеваемых минеральных удобрений должна соответствовать стандарту. В удобрениях не должно быть посторонних включений.

15.2. Влияние способов внесения на миграцию элементов питания минеральных удобрений.

Положительное влияние внутрипочвенного локального внесения удобрений на продуктивность растений ранее связывалось с тем, что удобрения размещаются в виде концентрированных очагов в слоях почвы с лучшей обеспеченностью влагой. Указывалось так же и на то, что при таком распределении элементов питания улучшается позиционная доступность элементов питания корневым системам растений, снижается их потребление микрофлорой почвы. При всей важности указанных факторов для продукционного процесса растений подобных сведений было явно недостаточно для объяснения возможной сложной картины взаимодействия компонентов системы: почва – удобрение – растение. Специфической особенностью всех видов локального применения удобрений является то, что в ограниченном объеме почвы формируются зоны с повышенным содержанием подвижных форм элементов питания [Надеждин, 1965; Булаев, 1973; Вильдфлуш и др., 1971; Гилис, 1975]. Их концентрация в месте расположения удобрения и в соседних участках почвы определяется многими факторами. Далеко не последнюю роль в микрораспределении подвижных форм элементов питания при локальных способах внесения имеют состав вносимого удобрения, миграционная подвижность элементов питания и их способность вступать в обменные процессы в почве. При изучении микрораспределения элементов питания из места внесения удобрения общепринятые методы отбора образцов почвы непригодны. Поэтому исследователи используют послойный их отбор в виде горизонтальных монолитов [Трапезников, 1983] или путем взятия не менее 10 индивидуальных проб на глубину до 15-20 см перпендикулярно направлению ленты [Zerkoune et al., 1993]. Для получения репрезентативного смешанного образца почвы используется отбор индивидуальных проб в рядке, в середине междурядий и около рядков [Soil sampling..., 1994]. Нередко для этого берутся образцы с большими интервалами. Включение очага удобрения с большим объемом почвы зачастую не позволяет оценить истинные параметры тех или иных признаков и свойств в очаге и соседних с ним участках почвы. Во избежание этого нами использовался мелкомасштабный отбор образцов почвы в виде горизонтальных монолитов сечением 2х2 см по схеме. На тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе нитрофоску состава 12:12:12 вносили лентой шириной 2 см на глубину 10 см в середину 15-см междурядий яровой пшеницы с помощью специального шаблона. Разбросное внесение удобрения осуществляли путем равномерного перемешивания его со слоем почвы 0-10 см. В течение вегетации проводили 4-5 отборов почвы с учетом фаз развития растений. Наблюдения, проведенные в течение нескольких сезонов, в принципе давали сходную картину динамики микрораспределения подвижных форм азота, фосфора и калия. В условиях наших

опытов миграция N-NH₄ в течение вегетации сильнее была выражена по вертикали, чем по горизонтали. Максимальное содержание данной формы азота было приурочено к месту расположения ленты удобрения. Примерно через 2 недели после закладки опыта количество N-NH₄ в образце, включавшем ленту удобрения и по одному сантиметру сверху и снизу, доходило до 50 мг в 100 г почвы. В соседнем по горизонтали монолите оно было примерно в три раза меньше. В течение вегетации аммоний практически не мигрировал по горизонтали дальше 3-4 см. По вертикали от места внесения нитрофоски повышенное содержание аммония отмечалось в слое почвы 5-15 см. При перемешивании удобрения, имитирующем разбросной способ, некоторое увеличенное содержание аммония наблюдалось в слое почвы 0-10 см до фазы кущения. Гетерогенность в распределении N-NH₄ при ленточном внесении нитрофоски сохраняется длительное время. О продолжительном существовании очага повышенного содержания аммония в месте расположения ленты нитрофоски и соседних с ним участках почвы свидетельствуют данные и других исследователей [Гилис, 1975; Вильдфлуш и др., 1971]. Содержание подвижных форм азота в очаге и их миграция в соседние участки почвы существенно зависят от ширины ленты удобрения [Лыкова и др., 1980], свойств почвы и формы азотных удобрений [Кореньков, 1976; Соколов и др., 1983; Pang et al., 1973], дозы удобрения. Увеличение дозы азотных удобрений с 30 до 60 кг/га приводило к расширению зоны миграции аммония. Показано, что определенное влияние на количество и соотношение форм азота в очаге оказывает глубина экранного внесения сульфата аммония [Семенов, Соколов, 1982; Соколов, Семенов, 1992]. В местах расположения сульфата аммония (от 10 до 30 см) отмечалось повышенное содержание обменного и необменного аммония и через месяц после его внесения. При этом, чем глубже заделывалось удобрение экраном, тем меньше образовывалось нитратов. Общеизвестно, что нитратная форма азота характеризуется значительно большей подвижностью, чем аммонийная. Общим для обеих форм мочевины было сравнительно равномерное содержание минерального азота, особенно аммонийного, по профилю почвы. За период от фазы 1-2 листьев до кущения происходило резкое снижение в исследуемом слое почвы содержания N-NO₃. В случае ленточного внесения зона расположения удобрения характеризовалась повышенным содержанием минерального азота. Однако четко выраженная гетерогенность в распределении N-NO₃ при внесении обычной мочевины отмечалась лишь до фазы кущения яровой пшеницы. В фазу 1-2 листьев повышенное содержание нитратов при внесении обычной мочевины наблюдалось в большем объеме почвы, чем при внесении капсулированной. Особенностью локального внесения капсулированной мочевины было сохранение повышенного содержания N-NO₃ в очаге до наступления молочной спелости зерна. Вероятно, локальное внесение азотных удобрений с пролонгированным действием позволит создавать более благоприятные условия азотного питания растений и на заключительных этапах онтогенеза растений. Детальными исследованиями на серой лесной почве показано, что основные изменения в содержании и распределении форм азота при различных способах внесения сульфата аммония происходят в течение первых 3-5 недель [Соколов, Семенов, 1992]. Длительное сохранение повышенного содержания минерального азота в очаге авторы связывают с невысокой миграционной способностью N-NH₄ в почве, а также торможением процесса нитрификации. Важная роль в поддержании гетерогенитета по содержанию минеральных форм азота отводится процессу усиленной мобилизации азота органического вещества почвы в месте расположения азотного удобрения. Поэтому после достаточно большого периода времени взаимодействия удобрения и почвы, повышенное содержание минерального азота в очаге и соседних с ним зонах представлено преимущественно азотом почвы. Известно, что наряду с процессом минерализации органического вещества почвы под влиянием азота удобрений одновременно идет и его иммобилизация за счет поглощения микрофлорой и связывания аммиака почвой. На степень

ее проявления способы внесения азотных удобрений также оказывают определенное влияние. Эти различия четко проявляются уже после нескольких дней взаимодействия азотных удобрений с почвой. В ряде работ показано, что локализация азотных удобрений приводит к более интенсивному образованию экстра-азота [Семенов, Мергель, 1989; Соколов, Семенов, 1992]. При этом указывается на несколько путей формирования фонда экстра-азота в почве: химический (как результат воздействия высокой концентрации на почву), биохимический (разложение органического вещества микробиологически) и физиологический (как результат повышения поглотительной способности корней низкосолевого статуса вследствие контакта высокосолевых корней с очагом удобрения). Степень мобилизации азота почвы при локальном внесении азотных удобрений определяется рядом факторов. К числу таковых относятся исходные запасы минерального азота и качественный состав азотного фонда почвы. Предполагается, что действие локально внесенных удобрений на формирование фонда экстра-азота ограничено по силе и затрагивает лишь небольшую часть способных к мобилизации азотистых соединений почвы [Соколов, Семенов, 1992]. В исследованиях по распределению элементов питания и их трансформации при различных способах внесения основного минерального удобрения обычно обращается внимание на очаг (место расположения удобрения в почве) и смежные с ним участки почвы, т.е. изучением охватывается ограниченный объем корнеобитаемой среды. Исходя из данных о силе влияния гетерогенного распределения на трансформацию техногенного азота и азота самой почвы, можно было предполагать, что его действие распространяется и на ее более глубокие слои. Топография распределения подвижных форм фосфора и калия в почве при различных способах применения минеральных удобрений привлекала внимание многих исследователей. В лабораторных опытах на средневщелоченном черноземе за 125 суток фосфорная кислота передвигалась от места внесения удобрения на 7-8 см [Гилис, 1975]. В краткосрочных лизиметрических и микрополевых опытах на дерново-подзолистых почвах фосфор нитроаммофоски почти полностью оставался в пределах 2-4 см от места внесения удобрения [Булаев и др., 1976a]. Содержание подвижного фосфора в месте расположения удобрения в зависимости от его дозы достигало 200-450 мг P_2O_5 на 100 г почвы. В микрополевых опытах незначительная часть фосфора через три недели после внесения удобрения мигрировала на расстояние до 5-6 см. На миграцию фосфора из очага оказывает влияние и форма совместно внесенного азотного удобрения. Показано, что подвижность фосфора повышается под влиянием сульфата аммония. Противоположное действие оказывает мочеви́на, что объясняется подщелачиванием среды продуктами ее гидролиза [Булаева, 1975]. В экспериментах на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при ленточном внесении смеси простых удобрений (аммиачная селитра, суперфосфат, калий хлористый) основная масса фосфорной кислоты сосредоточивалась в радиусе 4 см [Каликинский, Тверезовская, 1976]. На большее (до 8 см) расстояние мигрировал из очага калий. Показано, что с увеличением дозы калийного удобрения зона миграции калия расширяется, а распространение его от очага фиксировалось на расстоянии 6-7 см как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях [Булаев и др., 1976b]. Сообщается, что в зависимости от дозы фосфорного удобрения повышенное содержание подвижного фосфора в месте расположения ленты сохраняется до трех лет [Zerkoune et al., 1993]. При этом примерно 90% фосфора удобрения обнаруживалось на удалении до 5 см от точки внесения. Результаты наших наблюдений за динамикой распределения подвижных форм фосфора и калия, проведенных в микрополевых опытах на щелоченном черноземе [Трапезников, 1983; Трапезников и др., 1977], в принципе согласуются с данными литературы. При обоих способах внесения нитрофоски в дозе 60 кг/га основное количество фосфора и калия сосредоточивалось в том участке почвы, куда вносилось удобрение. При ленточном размещении удобрения повышенное содержание данных элементов питания было приурочено к самому очагу и в

радиусе 3-5 см от него. В свою очередь, фосфор замедлял гидролиз мочевины и ослаблял повышение pH около ленты удобрения. Гидротермические условия в течение вегетации по годам оказывали слабое влияние на характер распределения данных элементов питания. Более контрастные различия наблюдались в изменении абсолютного содержания подвижного фосфора в очаге. Так, в условиях острого дефицита влаги в течение всего вегетационного периода 1975 г. содержание P_2O_5 со 120 мг в 100 г почвы в фазу кущения пшеницы снизилось к началу молочно-восковой спелости зерна лишь на 20%, а в более благоприятном по увлажнению 1976 г. – в два раза. Менее выраженные различия в динамике содержания доступного растениям фосфора выявляются и в случае определения его по слоям почвы с интервалами в 20 см [Серета и др., 1998]. Через месяц (фаза кущения яровой пшеницы) после внесения нитрофоски вразброс концентрация фосфора в слое 0-20 см составила 13,7 мг/100 г, лентой – 16,9, в фазе трубкования соответственно – 15,1 и 17,0 мг/100 г почвы. Установлено, что прочность связи фосфора удобрений с почвой при локальном их внесении ниже, чем вразбросном [Фатеев, 1993], а в слое внесения удобрения образуется значительное количество наиболее доступных для растений фосфатов железа и кальция [Анчихорова, 1991]. Распределение калия в почве в принципе было сходным с распределением фосфора. Небольшие различия состояли в том, что ионы калия мигрируют из ленты на несколько большее расстояние, чем фосфора. Высокое содержание калия в очаге сохраняется практически до конца вегетации яровой пшеницы, хотя и уменьшается по сравнению с первоначальным его количеством примерно в четыре раза.

Таким образом, для части корневой системы растения в случае локального внесения комплексных удобрений создаются условия неограниченного питания с измененным в пользу фосфора и калия соотношением. Представляется, что основной причиной гетерогенитета почвы по признаку соотношения элементов питания является различная миграционная способность доступных форм азота, фосфора и калия.

Вопросы для самоконтроля

1. Какие Вы знаете способы внесения удобрений?
2. Охарактеризуйте вразбросное внесение удобрений.
3. Охарактеризуйте локальное внесение удобрений.
4. Какие существуют агротребования к внесению удобрений?
5. Назовите и охарактеризуйте машины для внесения удобрений.
6. Миграция элементов питания по профилю почвы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная

1. 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

Дополнительная

1. Система удобрений: В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко: учебник / В.Н. Ефимов. - М.: КолосС, 2003. – 320 с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Агрохимия / Б.А. Ягодин и др : учебник. - М.: Агропромиздат, 1989. - 639 с.
2. Агрохимия и система удобрения: учебное пособие / Н.Х. Дудина. - 3-е изд., испр. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 400 с.
3. Агрохимия: учебник / ред.: Б. А. Ягодин. - М.: Колос, 1982. - 574 с.
4. **Безуглова, О.С.** Новый справочник по удобрениям и стимуляторам роста. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 384 с. - ISBN5-222-03375-9.
5. **Блинов, В.А.** ЭМ-технология – сельскому хозяйству / В.А. Блинов. – Изд-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова», Саратов. – 2003. – 205 с.
6. **Васильев, В.А.** Справочник по органическим удобрениям / В.А. Васильев, Н.В. Филиппова. – М.: Россельхозиздат, 1984.
7. **Ефимов, В. Н.** Пособие к учебной практике по агрохимии / В. Н. Ефимов, М. Л. Горлова, Н. Ф. Лунина. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : КолосС, 2004. - 191 с. - ISBN 5-9532-0186-9
8. **Ефимов, В. Н.** Система удобрений: В.Н.Ефимов, И.Н.Донских, В.П.Царенко : учебник / В.Н. Ефимов. - М.: КолосС, 2003.
9. **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
10. **Муравин, Э.А.** Агрохимия: учебник / Э. А. Муравин. - М. : КолосС, 2004. - 383 с. - (Учебники и учеб. пособия для студентов ср. спец. учеб. заведений). - ISBN 5-9532-0036-6
11. **Петербургский, А. В.** Агрохимия и физиология питания растений : учебник / А.В. Петербургский. - 2-е изд. - [Б. м. : б. и.], 1981.
12. **Полевой, В.В.** Фитогормоны. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1982.
13. Практикум по агрохимии: учебное пособие / В. В. Киндин [и др.]. - М. : КолосС, 2008. - 599 с. : ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений). ISBN 978-5-9532-0387-6
14. Система удобрений в севообороте: методическое пособие и справочный материал для самостоятельной работы при разработке курсового проекта для студентов агрономических специальностей очного и заочного обучения / сост. Г. Н. Попов, В. П. Белоголовцев. - Саратов: Саратовский сельскохозяйственный институт, 1997. - 75 с.
15. **Смирнов, П. М.** Агрохимия: учебник / П. М. Смирнов, Э. А. Муравин. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1991. - 288 с.