

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГОУ ВПО РГАУ)**

И.В. Чечеткина, М.И. Демина, А.В. Соловьёв

**РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
РАСТЕНИЙ**

Учебное пособие

Москва 2010

УДК 631. 811 (075. 8)
ББК 41. 40 я 7

Растительная диагностика питания сельскохозяйственных растений: учебное пособие/Н.В.Чечеткина, М.И.Демина, А.В.Соловьев; Рос. гос. аграр. заоч. ун-т. М., 2010. 115 с.

В учебном пособии изложены вопросы контроля растительной диагностики, отбор растительных образцов. Представлена структура растительной диагностики – визуальная, химическая, тканевая, листовая. Приведена классификация, морфология и анатомия листа: шкала потребности растений в удобрении, уровни содержания макроэлементов в листьях, расчет соотношения элементов питания.

Предназначено для реализации в высших учебных заведениях для студентов агрономических и биологических специальностей

Рекомендовано организационно-методической комиссией Российского государственного аграрного заочного университета в качестве учебного пособия для студентов агрономических и биологических специальностей

Рецензенты: Загуменников В.Б., доктор биологических наук, заведующий лабораторией агротехники и агрохимии Всероссийского института лекарственных и ароматических растений (ВИЛАР РАСХН);

Старых Г.А., доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры плодовоовощеводства им. М.В. Алексеевой ФГОУ ВПО «Российский государственный аграрный заочный университет»;

Кропова Ю.Г., кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и экологии ФГОУ ВПО «Московский государственный гуманитарный университет им. М.А. Шолохова».

© Российский государственный
аграрный заочный университет, 2010 г.

Оглавление:

ВВЕДЕНИЕ	5
Тема 1. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ	6
Тема 2. ТИПЫ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ.....	7
Тема 3. РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ	9
Тема 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ОРГАНИЗМА	10
Тема 5. ЛИСТ – ОСНОВНОЙ ОРГАН РАСТЕНИЯ. ОБРАЗОВАНИЕ И ФУНКЦИИ ЛИСТА.....	11
5.1. Морфология листа	11
5.2. Классификация листьев.....	13
5.3. Прикрепление и формы листовой пластинки.....	16
5.4. Анатомическое строение листовой пластины.....	20
5.5. Строение хлоропласта	23
Тема 6. ВОЗДУШНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ (ФОТОСИНТЕЗ).....	25
Тема 7. МИНЕРАЛЬНОЕ (КОРНЕВОЕ) ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ.....	31
Тема 8. СВЯЗЬ МЕЖДУ УГЛЕРОДНЫМ (ВОЗДУШНЫМ) И МИНЕРАЛЬНЫМ (КОРНЕВЫМ) ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ	43
Тема 9. ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫМИ КЛЕТКАМИ	47
Тема 10. ВИЗУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕФИЦИТА ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ.....	48
Тема 11. МЕТОД ИНЪЕКЦИИ ИЛИ ОПРЫСКИВАНИЯ РАСТЕНИЙ РАСТВОРАМИ СОЛЕЙ.....	54
Тема 12. ДИАГНОСТИКА НЕДОСТАТКА МАКРОЭЛЕНТОВ	55
Азот	55
Фосфор	62
Калий	65
Кальций	68
Магний	71
Сера	73

Железо	76
Тема 13. ДИАГНОСТИКА НЕДОСТАТКА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ	78
Бор	78
Медь.....	83
Цинк.....	84
Марганец	87
Молибден	89
Кобальт.....	92
Алюминий	93
Кремний.....	94
Тема 14. ХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА	95
14.1. Методы химической диагностики.....	95
Тема 15. ТКАНЕВАЯ ДИАГНОСТИКА	97
Тема 16. ЛИСТОВАЯ ДИАГНОСТИКА	100
Тема 17. МЕТОД ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ	104
Тема 18. ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ	105
Тема 19. ОПТИМИЗАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	109
Тема 20. ОТБОР РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ.....	111
Тема 21. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАСТИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ.....	115
Список литературы	116

ВВЕДЕНИЕ

Минеральное питание, как и фотосинтез, является уникальным свойством растений. Эти две важнейшие функции определяют автотрофность растительного организма – растение строит свое тело из неорганических веществ. Питаются растения двумя типами: корневым и воздушным – усваивая CO_2 .

Школа физиологов минерального питания растений создана Д.А. Сабининым (1965). Он внес большой вклад в изучение поглотительной деятельности корнями и создание концепции круговорота веществ в растении. Большое значение придал минеральному питанию и удобрениям Д.Н. Прянишников (1963).

Научно обоснованное применение удобрений – это путь повышения плодородия почвы, урожайности сельскохозяйственных культур. Правильное использование минеральных удобрений повышает экономическую эффективность сельскохозяйственного производства.

Основная задача агрохимической службы заключается в обеспечении и применении средств химизации при возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям.

Функции агрохимической службы: контроль за соблюдением внесения минеральных и органических удобрений, охрана окружающей среды от загрязнения удобрениями, тяжелыми металлами и радионуклидами.

Контроль за питанием осуществляется на протяжении всей вегетации сельскохозяйственных культур. Для этого существует комплексная диагностика питания растений, которая состоит из почвенной и растительной.

Растительная диагностика состоит из визуальной, химической, тканевой и листовой.

Применение растительной диагностики дает возможность выяснить:

- действительную доступность для растений питательных веществ всего корнеобитаемого слоя почвы;
- особенности потребления растениями макро- и микроэлементов из почвы и вносимых удобрений;
- контроль и регулирование питания растений по фазам их роста и развития;
- необходимость подкормок и ориентировочные нормы питательных веществ;
- правильность метода расчета доз удобрений на заданный урожай;
- систему удобрений в целом.

Все виды диагностик проявляются на листовой поверхности растений.

Тема 1. ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Питание растений – процесс поглощения из внешней среды и преобразования питательных веществ в соединения, необходимые для жизнедеятельности растения, передвижение первично поглощенных питательных веществ и их преобразование и локализация в местах последующего использования.

Зеленые растения из углекислого газа, воды и простых минеральных солей с помощью солнечной энергии и многочисленных ферментов образуют сложнейшие органические вещества, которые, в свою очередь, являются пищей для человека и животных. В процессе питания вся зеленая растительность в дневное время выделяет огромное количество кислорода, которым дышат все живые организмы. Поэтому вся жизнь на Земле обусловлена созидательной работой высших и низших растений. О масштабности этого процесса в природе можно судить из следующих данных. Зеленые растения земного шара ежегодно образуют в пересчете на глюкозу до 400 млрд. т свежих органических веществ, в том числе 115 млрд. т на суше. При этом связывается до 170 млрд. т CO_2 и разлагается при фотоллизе в растениях 130 млрд. т воды с выделением 115 млрд. т свободного кислорода.

Для синтеза органических веществ на земле растения используют до 2 млрд. т азота и 6 млрд. т зольных элементов. Запасы азота в атмосфере достигают 4×10^{15} т. Однако они не определяют обеспеченность сельскохозяйственных культур этим элементом, так как растения, в основном, используют азот почвы, а не атмосферы. В связи с этим продуктивность растений определяется наличием минеральных соединений азота в почве.

Все зольные элементы практически полностью потребляются растениями из почвы, поэтому оптимизация содержания их в почве в доступной для растений в форме является одной из важнейших задач агрохимии.

Вода необходима растениям в процессе питания не только для фотоллиза, но и в значительно большем количестве для испарения листьями. При образовании 1 ц сухой массы урожая за время вегетации сельскохозяйственные культуры испаряют 300–400 ц воды. Эту величину называют коэффициентом транспирации. При неблагоприятных условиях роста растений расход воды для образования единицы сухой массы (транспирационный коэффициент) возрастает в 1,5–2 раза. При оптимальных условиях питания растений азотом и зольными элементами расход воды при транспирации может снижаться на 15–25% и более (Минеев В.Г., 2004).

Тема 2. ТИПЫ ПИТАНИЯ РАСТЕНИЙ

Существует два типа питания растений – автотрофный и симбиотрофный. Симбиотрофный может быть микотрофный и бактериотрофный.

В большинстве случаев у растений преобладает автотрофный тип питания (греч. «троф» – «пища»), т.е. самостоятельное обеспечение неорганическими элементами и азотом почвы и углекислым газом, из которых синтезируются органические вещества. К автотрофным организмам также относятся некоторые бактерии, где осуществляется углеродное питание путем фотосинтеза или хемосинтеза.

Автотрофные организмы не нуждаются в поступлении извне готовых органических веществ, а в процессе углеродного питания (фотосинтеза) из углерода CO_2 воздуха осуществляют их первичный синтез, т.е. заново создают органические соединения.

При симбиотрофном типе питания высшее растение тесно сожительствует с другими организмами (симбионтами). Симбиоз выработался в процессе исторического развития организмов как полезная для них форма отношений. При симбиотрофном типе питания наблюдается взаимное использование продуктов обмена веществ для питания. Границы симбиоза не всегда определены, поэтому часто трудно определить пользу, приносимую одним организмом другому.

При симбиозе высшего растения с грибами устанавливается микотрофный тип питания. Микориза гриба обеспечивает высшее растение водой и растворенными в ней минеральными солями и другими веществами, грибы же используют углеводы и другие органические соединения, синтезируемые высшим растением. Биологическое значение микоризы заключается также и в увеличении поглощающей поверхности корней высшего растения за счет развития мицелия гриба. В последние годы открыты микоризные грибы, улучшающие питание высших растений фосфором, особенно на почвах с низким содержанием доступного фосфора. С увеличением содержания этой формы фосфора эффективность инокуляции растений микоризой снижалась. Широкое изучение этого симбиоза и использование в практике земледелия позволяют сократить использование дефицитных промышленных фосфорных удобрений.

Наиболее наглядным примером бактериотрофного типа питания растения является симбиоз клубеньковых бактерий (ризобиум) с бобовыми растениями. При создании условий, обеспечивающих эффективный симбиоз, величина биологической фиксации азота достигает несколько сотен килограмм на 1 га в год (Минеев В.Г., 2004).

В период интенсивной химизации земледелия возрастает использование уникальной способности бобовых растений и микроорганизмов к связыванию молекулярного азота атмосферы. Определение оптимального соотношения биологического и технического азота позволяет правильно сбалансиро-

ровать круговорот этого элемента в земледелии и не вызвать нарушения равновесия в окружающей среде, т.е. более успешно решать экологические проблемы агрохимии азота. Поэтому биологическая фиксация атмосферного азота представляет собой большой как научный, так и практический интерес.

Так, над каждым гектаром суши и водной поверхности земного шара содержится 80 тыс. т азота, который становится доступным растениям благодаря их симбиозу с клубеньковыми бактериями, живущими на корневой системе бобовых. Ежегодно биологическим путем в почве в результате симбиоза бактерий с бобовыми растениями фиксируется 40×10^6 т азота.

Главная задача земледелия – создать оптимальные условия питания, водоснабжения, необходимый воздушный режим почвы, а также наилучшую для данной культуры реакцию почвенного раствора. Только в этом случае можно получить наибольший агрономический эффект от применяемого комплекса мероприятий. Так, при обеспеченности оптимальных условий питания применением удобрений растения более экономно расходуют влагу на создание единицы урожая. Коэффициент транспирации при этом снижается на 15–20% и более, что особенно важно в районах недостаточного увлажнения.

Растение питается через корни и листья. Через листья осуществляется углеродное питание растений (фотосинтез), т.е. происходит ассимиляция зелеными листьями углекислого газа из атмосферы с помощью солнечной энергии. Поэтому фотосинтез называют еще воздушным питанием растений. Через корни растение поглощает и усваивает из почвы воду и различные ионы минеральных солей, а также незначительные количества некоторых органических веществ.

В настоящее время благодаря применению метода меченых атомов наши знания о теории питания растений значительно углублены и расширены. Исследования показали, что деление на корневое и воздушное питание условно, так как одни и те же вещества способны поглощаться как корнями, так и листьями. Например, углекислота поступает в растение через корни в такой же мере, как и через листья, и может участвовать в синтезе органических соединений. Сера также поступает в растение через корни в виде солей серной кислоты. Позже благодаря использованию радиоизотопа серы было доказано, что растения способны усваивать и окислы серы (SO_2 , SO_3), поступившие через листья из воздуха.

Эти два вида питания растений тесно взаимосвязаны. Для полной продуктивности растения необходимо тщательно следить за общим его питанием.

Тема 3. РОЛЬ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

В состав растений входит до 70 химических элементов, участвующих в процессе обмена веществ. Их можно разделить на две группы: жизненно необходимые и условно необходимые элементы питания. К первой группе относятся элементы, без которых невозможны нормальный рост и развитие растений: углерод, водород, кислород, усваиваются растениями из воздуха, и азот, фосфор, кальций, сера, калий, магний, бор, медь, цинк, молибден, марганец, хлор, поглощаемые корневой системой из почвы.

Первые семь элементов являются основными, из которых строится растение, остальные осуществляют различные физиологические функции в растениях. Отсутствие какого-либо жизненно необходимого элемента в почве вызывает нарушение обмена веществ в растениях, что очень быстро отражается на их внешнем виде. А так как роль каждого элемента достаточно специфична, то признаки недостатка проявляются внешне неодинаково. Знание роли каждого из элементов и признаков его дефицита дает возможность при осмотре растения довольно точно поставить диагноз, понять причину «страдания» и провести мероприятия по ее устранению.

Своевременная, наиболее ранняя диагностика дефицита элементов питания и его коррекция позволяют получить запланированный урожай хорошего качества.

В агрохимии существует ряд методов, позволяющих с разной степенью точности оценить недостаток элементов питания у различных сельскохозяйственных культур.

Тема 4. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ДЛЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ОРГАНИЗМА

Для нормального жизненного цикла растительного организма необходима определенная группа питательных основных элементов, функции которых в растении не могут быть заменены другими химическими элементами. В эту группу входят 19 элементов:

Углерод (C),	Калий (K),	Цинк (Zn),
Водород (H),	Кальций (Ca),	Молибден (Mo),
Кислород (O),	Магний (Mg)	Бор (B),
Азот (N),	Железо (Fe),	Хлор (Cl),
Фосфор (P),	Марганец (Mn),	Натрий (Na),
Сера (S),	Медь (Cu),	Кремний (Si),
	Кобальт (Co)	

Среди этих питательных основных элементов лишь 16 являются собственными минеральными. Элементы углерод, водород, кислород поступают в растения, преимущественно, в виде CO_2 , O_2 и H_2O .

Все элементы делятся на две группы:

- макроэлементы – азот, фосфор, калий, кальций, марганец, сера (десяти–сотые доли %)

- микроэлементы – железо, марганец, медь, цинк, бор, молибден, кобальт, натрий, кремний, хлор. Концентрация этих элементов составляет 0,001% и ниже от сухой массы тканей.

Макроэлементы – углерод, водород, кислород, азот – называют органическими. Эти элементы составляют: углерод – 45%; кислород – 42%; водород – 6,5%; азот – 1,5%, вместе – 95% сухой массы тканей. Оставшиеся 5% приходится на зольные вещества – фосфор, серу, калий, кальций, магний, железо, алюминий, кремний, натрий и др.

Содержание золы зависит от вида и органа растений, условий выращивания. В семенах содержание золы составляет в среднем 3%, в корнях и стеблях – 4–5%, в листьях – 5–15%, в мертвых клетках древесины около 1%. Отмечается, что на богатых плодородных почвах и в сухом климате содержание зольных элементов больше.

Микроэлементы – это элементы, которые присутствуют в тканях в концентрациях 0,001% и ниже от сухой массы тканей. К ним относятся: марганец, медь, цинк, кобальт, молибден, медь, хлор.

Содержание того или другого элемента в тканях растений непостоянно и может сильно изменяться под влиянием факторов внешней среды.

Среди высших растений встречаются виды, резко различающиеся по содержанию в тканях элементов натрия, кальция. В связи с этим выделяют группы растений: 1. Натриефилов, 2. Кальциефилов (большинство бобовых, в том числе фасоль, бобы, клевер), 3. Кальциефобов (люпин, белоус, шавелек и др.).

Тема 5. ЛИСТ – ОСНОВНОЙ ОРГАН РАСТЕНИЯ. ОБРАЗОВАНИЕ И ФУНКЦИИ ЛИСТА

Основная функция листа зеленого растения – фотосинтез (воздушное питание), транспирация (регулируемое испарение воды) и синтез ряда органических веществ, в том числе некоторых фитогормонов (ауксина, гебберелинов, абсцизовой кислоты).

Любое отклонение в содержании питательных элементов от оптимального уровня вызывает нарушение биохимических и физиологических процессов в растениях. Это связано с изменением окраски листьев, появление некротических пятен, потеря тургора, мелколиственности, ослабление точки роста – верхушки растений.

Закладывается лист в виде листового бугорка, представляющего собой боковой выступ побега. После разворачивания почки, происходит многократное деление всех клеток листа и увеличение их размеров. Лист нарастает за счет интеркалярной меристемы. Семядоли зародыша являются первыми листьями семенных растений.

Следующие (настоящие) листья формируются в виде меристематических бугорков – примордиев, возникающих из верхушечной меристемы побега.

5.1. Морфология листа

Основные части листа. В листе различают листовую пластинку, черешок, основание и прилистники (рис. 1).

Листовая пластинка – основная, наиболее важная фотосинтезирующая часть листа.

Черешки – ориентируют листовые пластинки по отношению к источнику света, создавая листовую мозаику, т.е. такое размещение листьев на побеге, при котором они не затеняют друг друга. Это достигается: а) различной длиной и изогнутостью черешка; б) различной величиной и формой листовой пластинки; в) светочувствительностью листьев. Если черешок отсутствует, лист называется *сидячим*; он прикрепляется к стеблю основанием листовой пластинки.

Основание – это базальная часть листа, сочлененная со стеблем. Если основание листа разрастается, то образуется листовое *влагалище* (семейства злаковые, лилейные, зонтичные). Влагалище защищает пазушные почки и основания междоузлий. У многих однодольных растений влагалища листьев, охватывая друг друга, образуют ложный стебель (гемантус, банан).

Прилистники – парные боковые выросты основания листа. Они покрывают листовую пластинку еще в почке и предохраняют ее от различных повреждений. В почке прилистники обязательно закладываются вместе с листьями, однако у многих растений быстро опадают или пребывают в зачаточном состоянии. Если прилистники сростаются, то образуется струб (на-

пример, в семействе гречишные), если же разрастается основание листа, то образуется листовое влагалище (сем. Зонтичные).

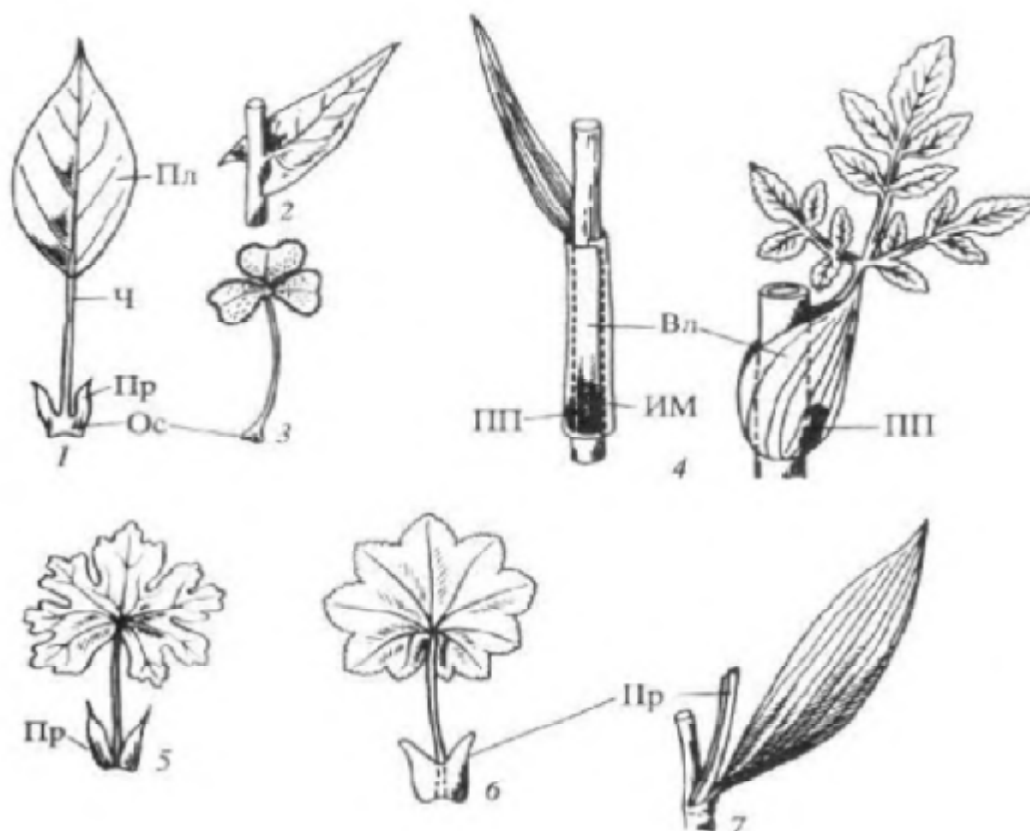


Рис. 1. Типы листьев и их составные части

1 – черешковый; 2 – сидячий; 3 – с подушечкой в основании; 4 – с влагалищем;

5 – со свободными прилистниками; 6 – с приросшими прилистниками;

7 – с пазушными прилистниками. Пл – пластинка; Ос – основание;

Вл – влагалище; Пр – прилистники;

Ч – черешок; ПП – пазушная почка; ИМ – интеркалярная меристема

Жилкование. Жилка листа представлена сосудисто-волокнистым пучком и выполняет проводящую и механическую функции. Жилки, входящие в лист от стебля через основание и черешок, называют *главными*. От главных жилок отходят *боковые* жилки первых, вторых и т.д. порядков. Между собой жилки могут соединяться сетью мелких жилок – *анастомозов* (рис. 2).

Дуговое и параллельное жилкование чаще всего встречается у однодольных растений. При дуговом жилковании неветвящиеся жилки расположены дугообразно и сходятся на верхушке к основанию листовой пластинки (ландыш). При параллельном жилковании жилки листовой пластинки проходят параллельно одна к другой (злаки, осоки).

Пальчатое жилкование – из черешка в листовую пластинку входят несколько главных жилок первого порядка (в виде пальцев руки). От главных

жилок отходят жилки последующих порядков (характерно для двудольных растений).

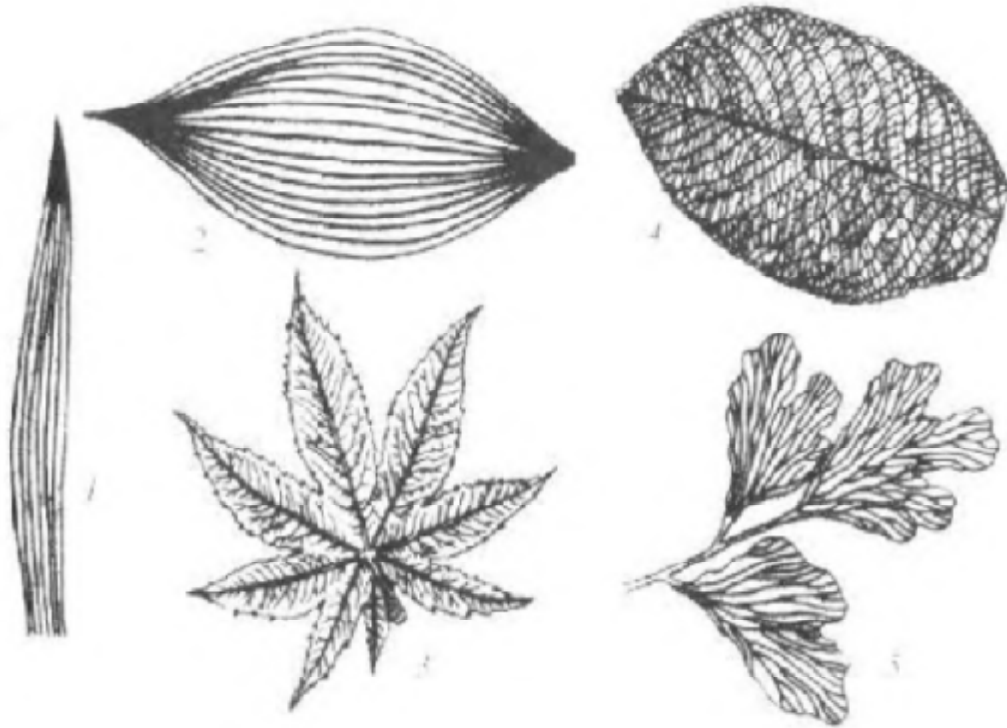


Рис. 2. Типы жилкования листьев
1 – параллельное; 2 – дуговидное; 3 – сетчатое с пальчатым расположением основных жилок; 4 – сетчатое с перистым расположением основных жилок; 5 – дихотомическое (Хржановский В.Г., 1982)

Перистое жилкование – выражена центральная жилка, идущая от черешка и сильно ветвящаяся в листовой пластинке в виде пера (характерно для двудольных растений).

5.2. Классификация листьев

Лист, состоящий из одной листовой пластинки, называется *простым*. Такие листья опадают в месте сочленения стебля с черешком у деревьев и кустарников и не опадают у травянистых растений. Лист называется *сложным*, когда на общей оси – *рахисе* – располагаются несколько листовых пластинок (листочков), имеющих свои черешочки. При листопаде у сложного листа сначала опадают листочки, а затем рахис (семейства бобовые и розоцветные).

Простые листья подразделяются на листья с цельной и расчлененной листовой пластинкой. Простые листья с цельной листовой пластинкой характеризуются:

- формой листовой пластинки – округлая, яйцевидная, продолговатая и т.д.;
- формой основания листа – сердцевидное, копьевидное, стреловидное и т.д.;
- формой края листовой пластинки – зубчатый, пильчатый, выемчатый и т.д. (рис. 3, 8).

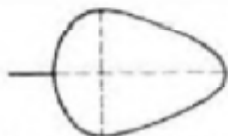
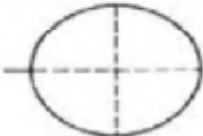


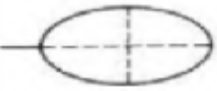
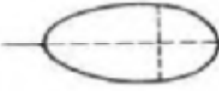



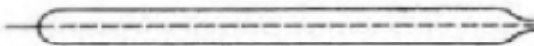
	Наибольшая ширина находится ближе к основанию листа	Наибольшая ширина находится посередине листа	Наибольшая ширина находится ближе к верхушке листа
Длина равна ширине или превышает ее очень мало	 Широкояйцевидный	 Округлый	 Обратно-широкояйцевидный
Длина превышает ширину в 1,5–2 раза	 Яйцевидный	 Эллиптический	 Обратнояйцевидный
Длина превышает ширину в 3–4 раза	 Узкояйцевидный	 Ланцетный	 Обратно-узкояйцевидный
Длина превышает ширину более чем в 5 раз	 Линейный		

Рис. 3. Простые листья с цельной листовой пластинкой (Хржановский В.Г., 1982)


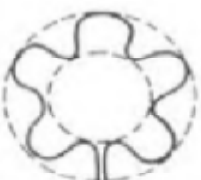



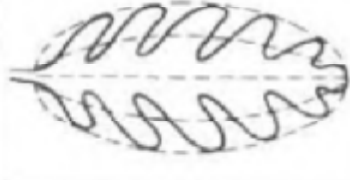


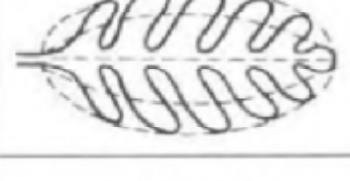


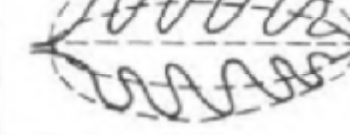
	Тройчато- (трех-)	Пальчато-	Перисто-	
Простые листья	Лопастный (расчлененный менее чем до половины ширины полуластинки)			
	Раздельный (расчлененный глубже половины ширины полуластинки)			
	Расчлененный (до основания)			
Сложные листья (листочки на черешках)				

Рис. 4. Сложные и простые листья с расчлененной листовой пластинкой
(Хржановский В.Г., 1982)

Простые листья с **расчлененной листовой пластинкой** в зависимости от жилкования (пальчатое или перистое) и степени глубины расчленения подразделяют на:

- пальчатолопастной, или перистолопастной, если расчленение листовой пластинки доходит до $\frac{1}{3}$ ширины пластинки или полуластинки;
- пальчатораздельный, или перистораздельный, если разделение листовой пластинки доходит до $\frac{1}{2}$ ширины пластинки или полуластинки.
- пальчаторассеченный, или перисторассеченный, если степень расчленения листовой пластинки доходит до ее основания или центральной жилки (рис. 4, 9).

Сложные листья бывают тройчатосложные, состоящие из трех листочков (земляника), и пальчатосложные, состоящие из множества листочков (каштан). У этих типов сложных листьев все листочки прикрепляются к верхушке рахиса. Кроме того, у некоторых сложных листьев листочки распола-

гаются по всей длине рахиса. Среди них различают парноперистосложные, если они заканчиваются на верхушке листовой пластинки парой листочков (горох посевной), и непарноперистосложные (рябина обыкновенная), заканчивающиеся одним листочком.

Существует несколько типов прикрепления листа к стеблю (рис. 5), разнообразные формы листа по краю (рис. 6) и типы листа по форме его верхушки (рис. 7).

5.3. Прикрепление и формы листовой пластинки

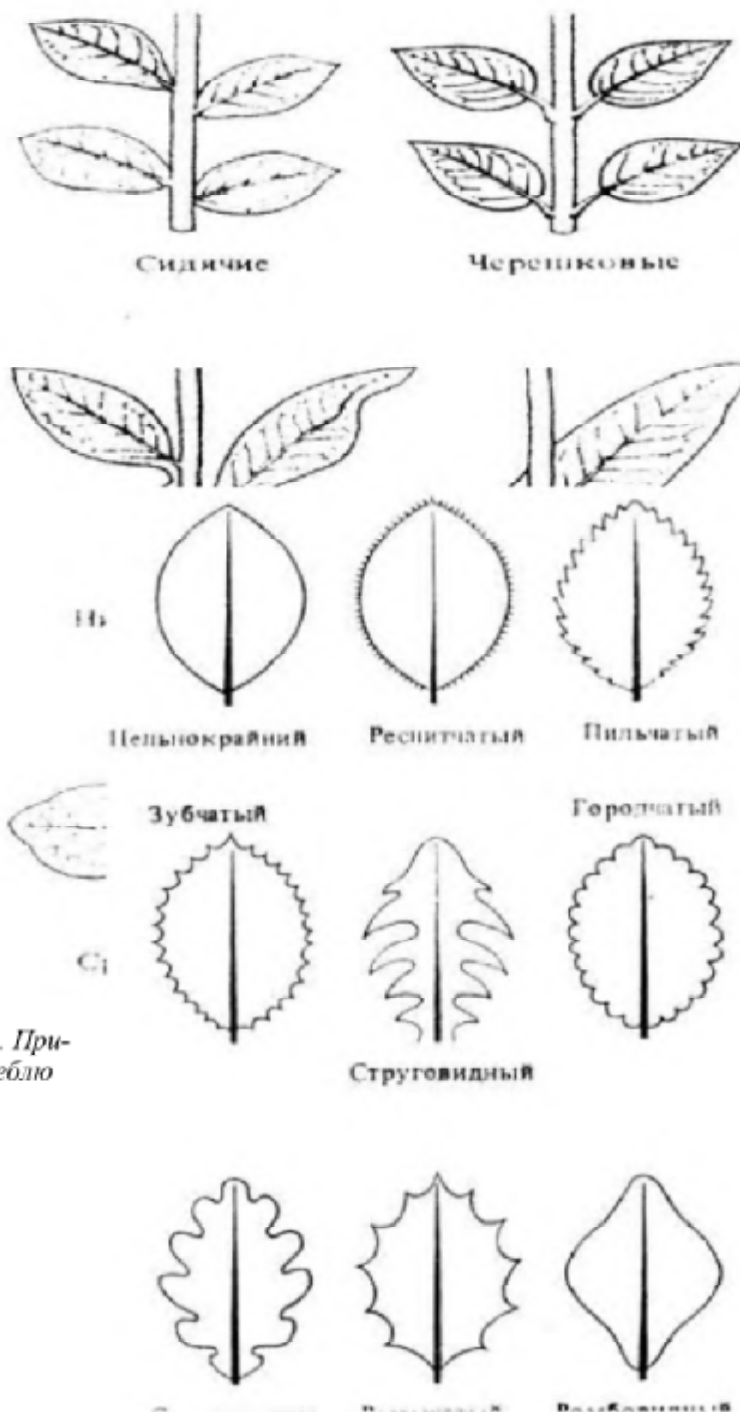


Рис. 5. При-
листа к стеблю

крепление

Рис. 6. Тип листа по форме его края

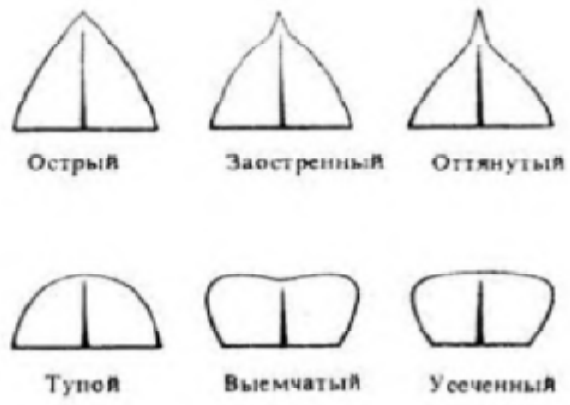


Рис. 7. Тип листа по форме его верхушки

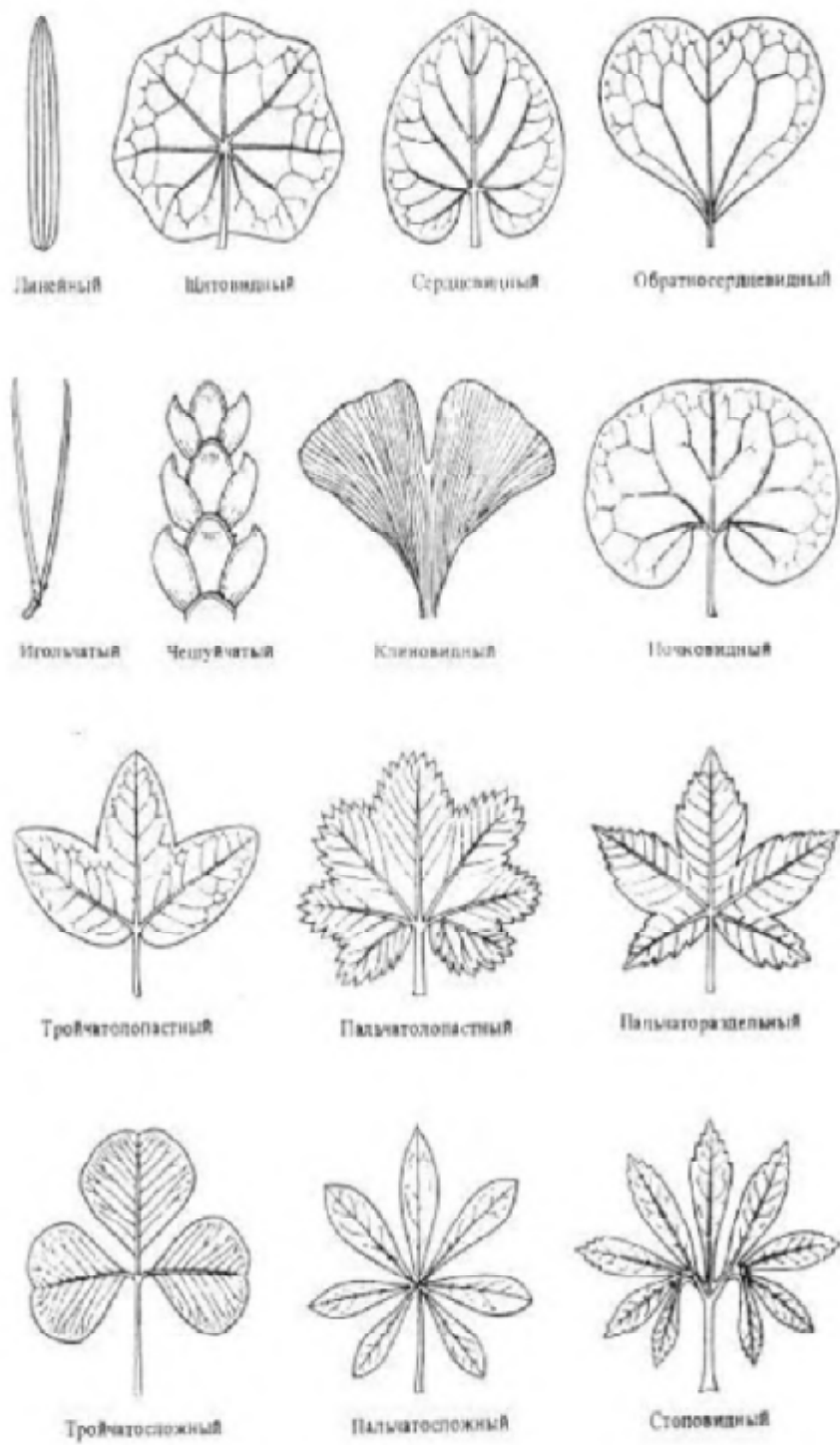


Рис. 8. Тип листа по форме листовой пластинки

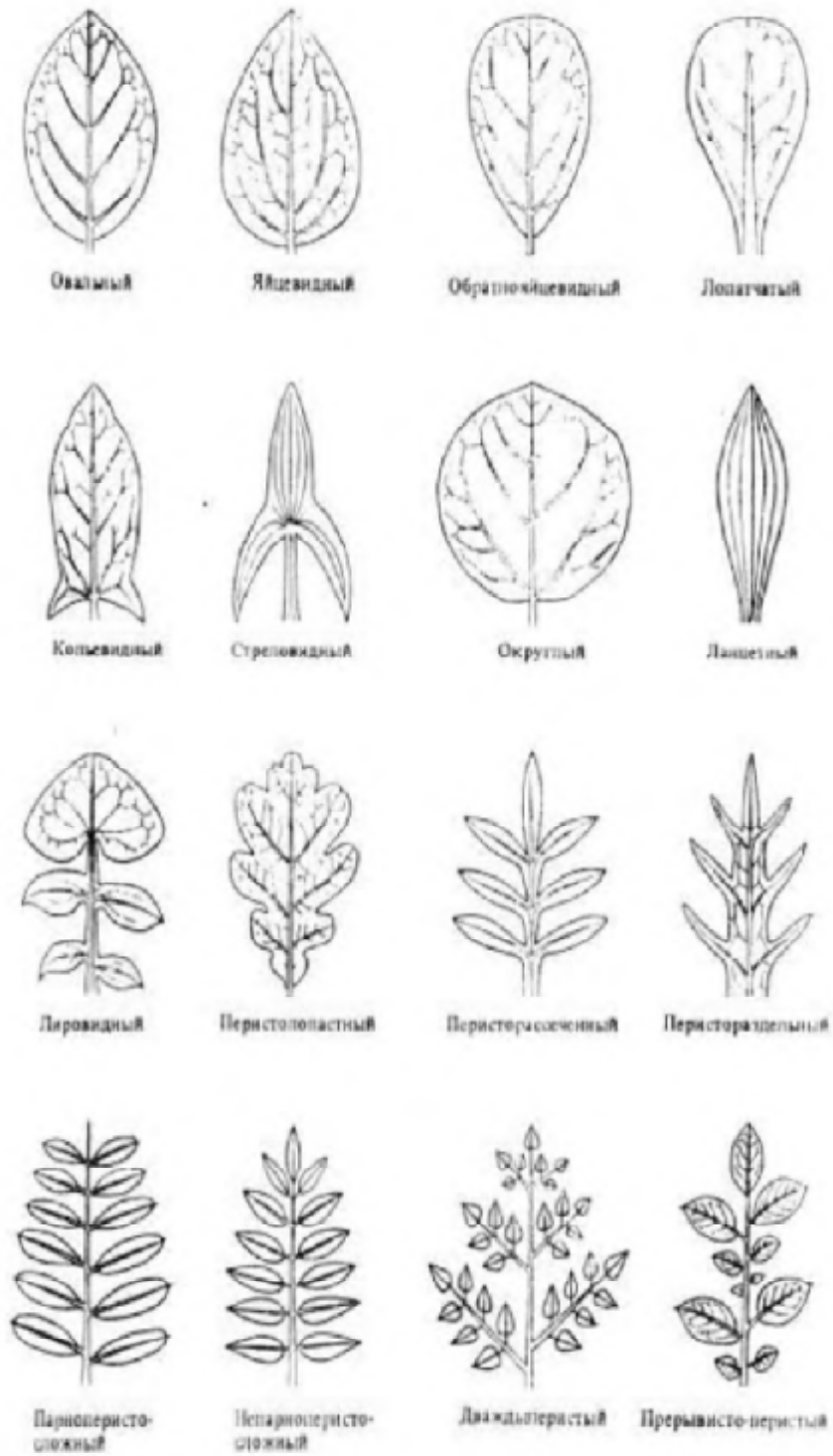


Рис. 9. Тип листа по форме листовой пластинки

5.4. Анатомическое строение листовой пластины

Лист, как правило, имеет плоскую форму и дорсовентральное строение. Пластинчатая форма листа обеспечивает наибольшую поверхность на единицу объема ткани, что создает наилучшие условия для воздушного питания.

Клетки меристемы зачатка листа дифференцируются в первичную покровную ткань – эпидерму, основную паренхиму и механические ткани. Слои прокамбия, возникшие из срединного меристематического слоя зачатка листа, дифференцируются в проводящие пучки.

По анатомическому строению выделяют *дорсовентральные, изолатеральные и радиальные листья*.

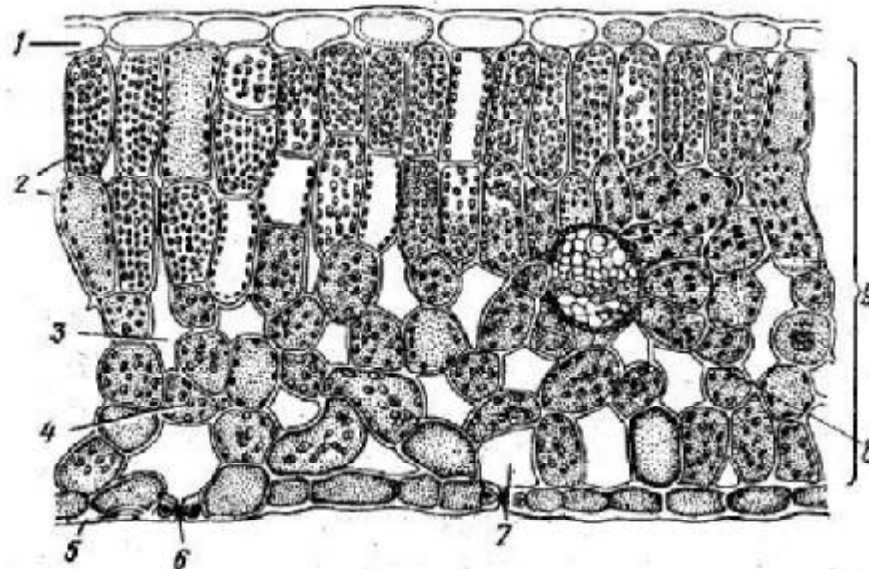
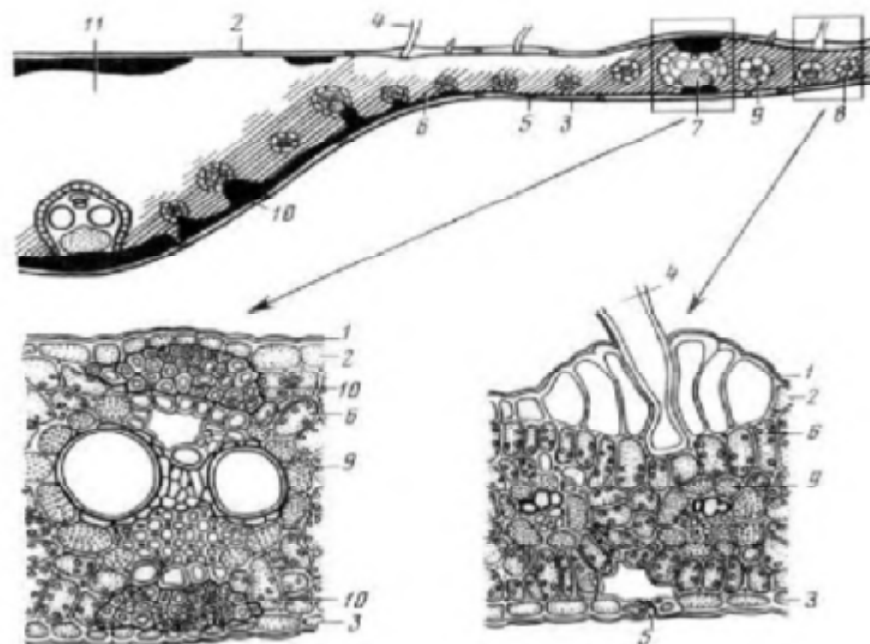


Рис. 10. Схема строения дорсовентрального листа свеклы:
1 – верхний эпидермис; 2 – столбчатая паренхима; 3 – межклетник; 4 – губчатая паренхима; 5 – нижний эпидермис; 6 – устьице; 7 – дыхательная полость;
8 – проводящий пучок; 9 – мезофилл (Суворов В.В., 1979)

У большинства растений, вследствие неравномерного освещения листа, с верхней стороны листовой пластинки развивается столбчатая хлоренхима, а с нижней стороны губчатая. Такая структура, где ярко выражены дорсальная и вентральная стороны (свекла сахарная), называется *дорсовентральной* (рис. 10).

При равномерном освещении листа с двух сторон, когда листовая пластинка расположена почти вертикально (под острым углом к стеблю), лист становится *изолатеральным*, т.е. *равносторонним*. При такой структуре столбчатая хлоренхима располагается с верхней и нижней стороны, например у листьев гладиолуса, нарцисса, ириса (рис. 11).



*Рис. 11. Схема строения изолатерального листа (лист кукурузы):
 1 – кутикула; 2 – верхняя эпидерма; 3 – нижняя эпидерма; 4 – волоски;
 5 – устьичный аппарат; 6 – мезофилл; 7 – крупный проводящий пучок;
 8 – мелкий проводящий пучок; 9 – обкладка; 10 – склеренхима;
 11 – бесцветная паренхима (Родман Л.С., 2006)*

У хвои сосны ассимиляционная часть листа представлена складчатой хлоренхимой, расположенной вокруг центрального осевого цилиндра. Структура таких листьев называется *радиальной* (рис. 12).

Важнейшая ткань листа – мезофилл, где осуществляется фотосинтез.

Покрывающий лист эпидермис не содержит хлоропластов, защищает ткани листа, регулирует газообмен и транспирацию.

Система разветвленных проводящих пучков необходима для снабжения тканей водой, минеральными и некоторыми органическими веществами и для оттока ассимилятов в генеративные органы растений.

Мезофилл дифференцирован на две ткани – полисадную (столбчатую), расположенную под верхним эпидермисом, и губчатую, находящуюся в нижней стороне листа. В полисадном мезофилле клетки вытянуты перпендикулярно поверхности листа и расположены в один или несколько слоев. Клетки губчатого мезофилла связаны друг с другом более рыхло из-за больших межклетников.

Полисадная ткань, обращенная к свету, содержит большую часть всех хлоропластов листа и выполняет основную работу по ассимиляции CO_2 .

Листья, выросшие на ярком свете, имеют развитый мезофилл. У растений засушливых ареалов – ксерофитов – полисадная паренхима часто распо-

ложена по обеим сторонам листа, а губчатая сильно редуцирована или совсем отсутствует.

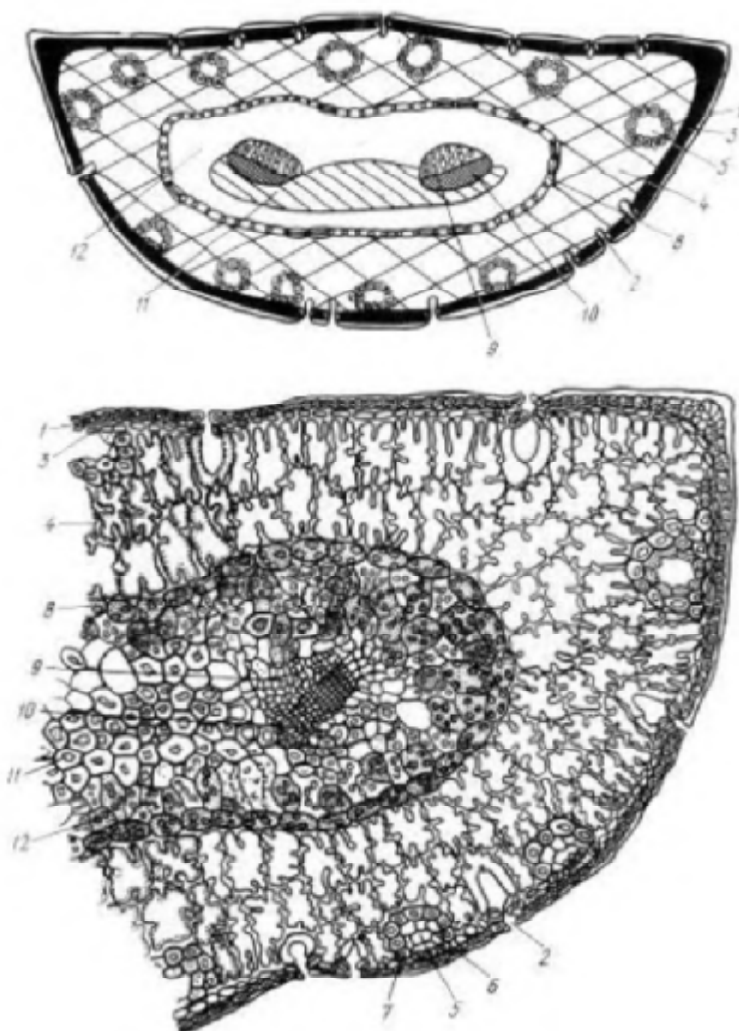


Рис. 12. Схема строения радиального листа (хвоя сосны):

*1 – эпидерма; 2 – устьичный аппарат; 3 – гиподерма; 4 – складчатая паренхима;
5 – смоляной ход; 6 – эпителиальные клетки; 7 – обкладка; 8 – эндодерма;
9 – ксилема; 10 – флоэма; 11 – склеренхима; 12 – паренхима (Родман Л.С., 2006)*

Фотосинтез зависит от элементов минерального питания, которые формируют фотосинтетический аппарат (пигменты, компоненты электро-транспортной сети, каталитические и транспортные белки), а также обновление и функционирование.

Для нормального функционирования фотосинтетического аппарата растение должно быть обеспечено всем комплексом макро- и микроэлементов.

5.5. Строение хлоропласта

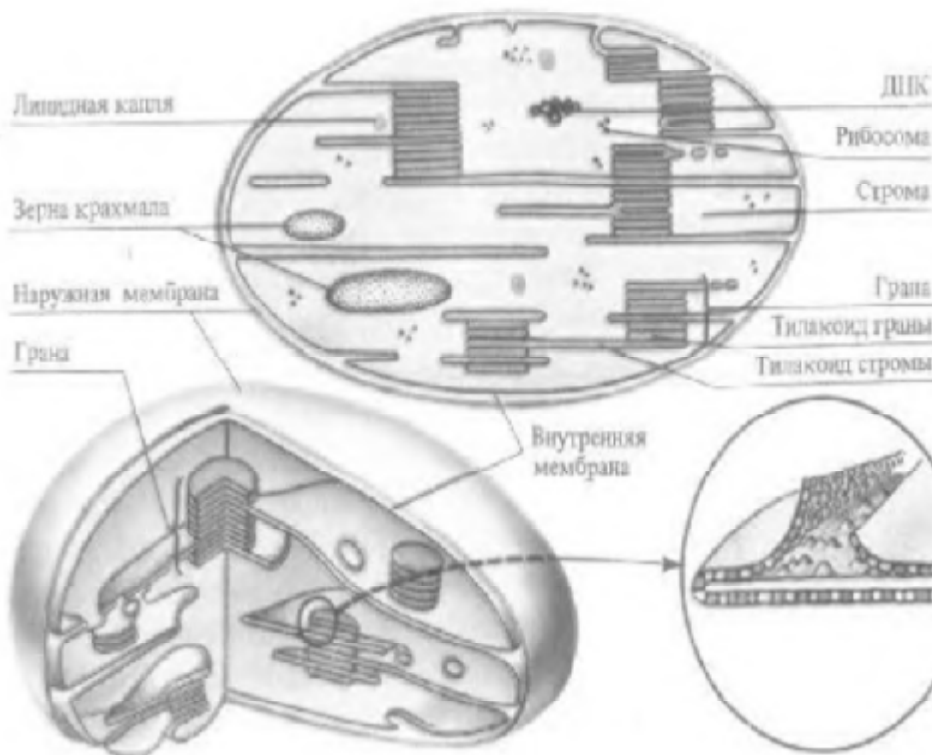
Важнейший для всего живого процесс преобразования энергии поглощенного света в химическую энергию органических веществ, синтезируемых из CO_2 и H_2O (фотосинтез), осуществляется в зеленых пластидах – *хлоропластах*. Это овальные тела 5–10 мкм длиной и 2–3 мкм в диаметре. В одной клетке листа могут находиться 15–20 и более хлоропластов, а у некоторых водорослей – лишь 1–2 гигантских хлоропласта различной формы. Как и другие пластиды, хлоропласты обладают наружной и внутренней мембранами. Внутренняя мембрана, ограничивающая внутреннюю гомогенную среду (*строму*) хлоропласта, образует уплощенные инвагинации – *тилакоиды*, которые могут иметь форму дисков и в этом случае называются *тилакоидами гран* (гранальными). несколько таких тилакоидов, лежащих друг над другом, формируют стопку – *грану*. Другие тилакоиды, связывающие между собой грани или не контактирующие с ними, называются *тилакоидами стромы* (рис. 13).

В мембранах тилакоидов локализованы зеленые (хлорофиллы), желтые и красные (каротиноиды) пигменты, компоненты редокс-цепей и запасающие энергии, участвующие в поглощении и использовании энергии света. Биохимические системы синтеза и превращения углеводов функционируют в стромах хлоропластов. В ней же может откладываться крахмал.

Хлоропласты содержат в везикулах (пузырьках) стромы каротиноиды. Их присутствием объясняется окраска плодов томатов, рябины и др. В стромах всех пластид обнаружены кольцевые молекулы ДНК.

При росте клетки количество хлоропластов увеличивается путем деления. При делении ламеллярная система пересекается перемычкой поперек органоида, иногда наблюдается почкование хлоропластов. Затем размер дочерних хлоропластов увеличивается. Деление хлоропластов происходит через 6–20 ч и не обязательно совпадает с делением ядра. Оно может регулироваться красным светом (660 нм) и устраняется облучением дальним красным светом (730 нм). Деление останавливается также низкой температурой.

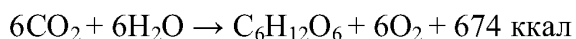
Рис.
13.



Строение хлоропласта (Полевой В.В., 1989)

Тема 6. ВОЗДУШНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ (ФОТОСИНТЕЗ)

Фотосинтез – процесс образования преимущественно безазотистых органических веществ (углеводов) растениями из углекислоты атмосферы и воды почвы при участии солнечных лучей:



Процесс фотосинтеза является первоисточником энергии, необходимой для поступления минеральных веществ через корни и передвижения их по растению. В среднем растения содержат 45% углерода, 42% кислорода и 6,5% водорода.

Солнечная энергия, поглощаемая в процессе фотосинтеза, расходуется на разложение воды на кислород и водород. Освободившийся кислород частично используется на дыхание растений, а большая часть его выделяется в атмосферу. Водород, дает, по-видимому, начало еще не изученным веществам, которые активно присоединяют углекислый газ без предварительного разложения его на углерод и кислород.

Образовавшиеся в процессе фотосинтеза простые сахара представляют исходный материал для синтеза сложных углеводов: сахарозы $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, крахмала $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$, клетчатки $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$, а также белков, жиров, органических кислот и др.

Прямыми продуктами фотосинтеза могут быть не только углеводы, но и некоторые органические вещества, в частности белки. Углеводы и белки образуются в листьях не сразу, а в результате превращения в хлоропластах первичного продукта, природа которого недостаточно ясна.

Направленность действия фотосинтетического аппарата зависит от видовых особенностей растения, возраста отдельных листьев и всего растения, интенсивности и качества света (красный свет – углеводный, синий – белка), уровня азотного питания и др.

Существуют два пути синтеза белка: не зависящий от света (связано со сложными процессами вторичного превращения углеводов) и фотосинтетический (протекает только на свету в хлоропластах и не связан с превращением углеводов).

В процессе фотосинтеза растения, используя солнечную энергию, из углекислого газа, поступающего из атмосферы через листья, воды и минеральных солей, поглощаемых корнями, синтезируют сложнейшие органические вещества.

Каждое растение синтезирует одно или несколько органических веществ, которые представляют наибольший интерес для питания человека, например, белок и крахмал в зерновых и зернобобовых культурах, сахар в сахарной свекле, крахмал в картофеле, жиры в подсолнечнике, клетчатка в хлопчатнике и льне-долгунце и т.д. Задача состоит в том, чтобы создать оп-

тималыные условия для максимального накопления питательных веществ, исходя из биологических особенностей каждой сельскохозяйственной культуры.

В процессе фотосинтеза образование органических веществ происходит при поглощении большого количества солнечной энергии. Однако лишь небольшая ее часть (2–4%), попадающая на поверхность вегетирующих растений, используется ими на синтез органических веществ. Остальная часть солнечной энергии используется на транспирацию, а также, отражаясь, бесследно теряется в атмосфере. За период вегетации растение испаряет воду для охлаждения. Процесс испарения связан с большой затратой тепла. На испарение листьями расходуется не менее 25, а в южных районах до 70–95% энергии солнечных лучей, попадающих на растение. Это приблизительно в 10–45 раз больше, чем запасается в урожае растений.

Благодаря солнечному теплу создаются оптимальные температурные условия для прорастания семян, роста растений и формирования высококачественной продукции. Основная часть органических веществ в растении образуется путем вторичного превращения продуктов фотосинтеза.

Первичные же продукты фотосинтеза возникают не при простом присоединении водорода к углекислоте и последующем уплотнении, а через цепь различных превращений с участием многих ионов минеральных солей и различных биологических катализаторов. Но вместе с тем углеводы в растениях являются важнейшими первичными исходными веществами, из которых при различных сочетаниях с другими химическими элементами и при участии соответствующих ферментов возникают новые сложные органические соединения (белки, жиры, органические кислоты и т.д.). Эти органические вещества являются незаменимой пищей для животных и человека.

Таким образом, углерод, кислород и водород – основные элементы углеводов и других более сложных исходных органических продуктов для всех последующих биохимических синтетических процессов. С участием кислорода и водорода совершаются и важнейшие окислительно-восстановительные энергетические процессы.

Для образования сложных вторичных органических веществ из первичных продуктов фотосинтеза необходима энергия, возникающая в растении в результате дыхательных процессов. Сущность дыхания можно свести к окислению углеводов кислородом. Этот процесс противоположен фотосинтезу: если фотосинтез сопровождается поглощением и накоплением в растении тепла, то процесс дыхания – выделением тепла. Его можно представить следующим уравнением:



Выделяющаяся при дыхании энергия в растениях используется на жизненные различные процессы:

1) синтез других органических веществ, более богатых потенциальной энергией (например, жиров, белков и т.д.);

2) поглощение корнями различных солей и воды из почвы и передвижение их к листьям, а от листьев – к растущим частям (ростовым точкам, цветкам, семенам, клубням и другим органам);

3) совершение корнями работы в почве при их росте. Энергия дыхания используется также и для того, чтобы ростки растений могли преодолеть сопротивление почвы и появиться на поверхности земли. Жизненные процессы растения весьма многообразны, но все они происходят благодаря дыханию.

В растительных организмах запасается 60–70% энергии, которая может быть использована в процессах, связанных с увеличением свободной энергии, а 30–40% составляет тепловая энергия, выделяющаяся при окислении органических соединений. Большая часть ее освобождается при окислении содержащих водород соединений молекулярным кислородом с образованием воды. Эти процессы протекают в определенные фазы цикла ди- и трикарбонных кислот.

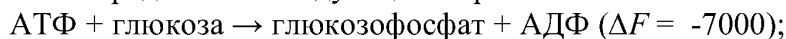
Макроэргические фосфатные связи и макроэргические соединения можно разделить на две основные группы:

1) глицерофосфат, 3-фосфоглицериновая кислота, глюкозо-6-фосфат, фруктозо-6-фосфат и некоторые другие соединения (у соединений этой группы величина свободной энергии гидролиза фосфатной связи колеблется от 0,8 до 3,0 ккал на 1 молекулу);

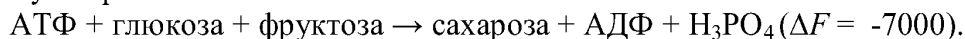
2) аденозинтрифосфорная кислота (АТФ), аденозиндифосфорная кислота (АДФ), 1,3-дифосфоглицериновая кислота, фосфоэнолпировиноградная кислота и некоторые другие вещества (у соединений этой группы величина свободной энергии гидролиза фосфатной связи колеблется в пределах от 6 до 16 ккал на 1 молекулу).

В живых организмах основное значение среди макроэргических соединений принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте. Другие же макроэргические соединения очень часто служат лишь промежуточными переносчиками энергии.

Во всех реакциях обмена веществ энергия может использоваться только при сопряжении процессов освобождения энергии с ее использованием, а передача энергии от одной системы реакции к другой может быть лишь в том случае, когда две реакции идут последовательно и имеют общие промежуточные продукты. Например, образование сахарозы требует большого количества энергии и может протекать сопряжено с гидролизом АТФ. Механизм этот можно представить следующим образом:



Суммарно:



Такой же механизм лежит в основе других синтетических процессов образования крахмала из глюкозы, белков из аминокислот и др. Передача энергии и перенос фосфатных групп в этих процессах обеспечиваются участием в реакциях АТФ.

Следует отметить, что все биологические реакции протекают при температуре живого организма и энергия, которая затрачивается при этих реакциях, в большинстве случаев доставляется или запасается в виде макроэргических фосфатных связей. Это одно из отличий биохимических реакций от обычных химических, когда основная часть энергии выделяется или поглощается в виде тепловой энергии. Реакции, как правило, протекают при высоких температурах.

Следовательно, фотосинтез, при котором растение потребляет основную часть углерода, водорода и кислорода с помощью солнечной энергии, создавая органические соединения, тесно связан с корневым питанием растений, обеспечивающим его соединениями азота и зольными веществами. В процессе же дыхания образуется энергия, используемая в синтезе более сложных органических соединений вторичного происхождения.

Процессы образования органических веществ в растениях тесно связаны с процессами обмена энергии в растительном организме, важным звеном которого является образование аденозинтрифосфорной кислоты как носителя энергии с макроэргическими фосфатными связями.

Необходимо отметить большую роль воды в питании растений. Она часто составляет 80–90% массы живого растения. Все растительные органы и ткани сохраняют свою жизнедеятельность при достаточном содержании в них воды. Вода в растительном организме – не только среда, но и непосредственный участник биохимических реакций. Она является связующим звеном между частями белковых молекул. В клетках и тканях растений вода имеет определенную структуру и является связующим каркасом цитоплазмы клетки. Белки и молекулы других сложных органических веществ, благодаря воде гидратируются в протоплазме образуя определенные структурные агрегаты, превращаются в студнеобразные комплексы, придавая им определенные коллоидные и физико-химические свойства. В них протекают важнейшие процессы обмена веществ. Только при оптимальном водном режиме растение способно к рациональному использованию питательных веществ и максимальной продуктивности.

Резкий недостаток влаги в растениях приводит к нарушению всех жизненно важных процессов, а потеря ее сверх определенного предела неизбежно ведет к необратимым изменениям в организме и его гибели. Для поддержания нормального тургорного состояния растений необходим постоянный приток влаги, осуществляемый через корни из почвы. Если растение не обеспечивается оптимальным количеством воды, то происходит завядание молодых органов растений, при котором падает тургор и наступает плазмолиз клетки.

При дефиците влаги резко снижается интенсивность фотосинтеза и роста растений вплоть до полного прекращения, так как происходят процессы гидролиза и распада органических веществ, нарушается согласованная работа ферментативного аппарата. Для поддержания нормальной жизнедеятельности растений и оптимальной температуры поверхности листьев необходима постоянная транспирация воды растением.

Растения обычно приспособлены к временному дефициту влаги, но длительная засуха резко отрицательно влияет на их развитие. Действие засухи проявляется в первую очередь в водном дефиците, появляющемся при преобладании испарения над поступлением воды в растения. В этом случае происходит потеря не только свободной воды, но и коллоидно-связанной, что ведет к нарушению биохимических процессов. Снижается адсорбционная способность коллоидов, степень их обводненности, вязкость протоплазмы; подавляется синтез белков и хлорофилла; нарушается фосфорный обмен; происходит распад нуклеиновых кислот, фосфатидов, нуклеопротеидов; резко снижается переход минерального фосфора в органические соединения; уменьшается отношение органического фосфора к минеральному. Температура выше критического уровня и дефицит влаги приводят к нарушению структурных элементов клетки, прекращается митоз, разрушается ядро клетки и параллельно происходит деградация ДНК.

В сухие жаркие годы с суховеями процесс фотосинтеза у растений возможен только в ранние утренние и вечерние часы. В остальное же время идет усиленная трата пластических веществ и энергии на сопротивление и защитные реакции. При этом происходят нарушение баланса между притоком и тратой макроэргических фосфорных соединений типа АТФ, снижение энергетического потенциала, обусловленного непроизводительной тратой аккумулированной энергии. Высокий окислительный потенциал в клетке приводит к бурному окислительному разрушению углеводов, белков, в связи с чем в тканях растений накапливается аммиак и наступает их отравление.

Засуха ухудшает и почвенные условия: происходит повышение осмотического давления почвенного раствора, что ведет к проявлению токсического действия удобрений, особенно азотных. Это подтверждается многочисленными данными об отрицательном действии азотных удобрений на урожай растений в засушливые годы.

В настоящее время применяются многие агротехнические мероприятия, позволяющие косвенным путем существенно повышать продуктивность фотосинтеза, а следовательно, и накопление органических веществ. Так, при недостаточном обеспечении растений минеральным питанием, а также при плохом водоснабжении ассимиляционная поверхность листьев растений в посевах в большинстве случаев не достигает оптимальных величин, и значительная часть солнечной энергии падает не на листья, а на почву, т.е. расходуется непроизводительно. При регулировании условий выращивания растений ассимиляционная поверхность листьев может колебаться от 5–6 до 40–50

тыс. м² на 1 га. Изреженные посевы могут поглотить только 20–25% падающей на них фотосинтетически активной радиации, а используют на фотосинтез только 1–2% от поглощенной. Хорошие же посевы за вегетационный период могут поглощать 50–60% падающей на посевы фотосинтетически активной радиации и накапливают в органических веществах урожая всего 2–3% от поглощенной энергии. А между тем теоретически возможно использование 20–25% фотосинтетически активной радиации, поглощаемой листьями. Если даже коэффициент использования поглощенной энергии на фотосинтез повысить до 6–8%, то расход воды на создание 1 т сухого вещества снизится с 400–500 до 75–100 т.

Главная задача генетиков и селекционеров – создание более продуктивных сортов, обладающих высокой фотосинтетической способностью. Условия процесса фотосинтеза и использования солнечной радиации в значительной мере определяют биологический и хозяйственный урожай.

Тема 7. МИНЕРАЛЬНОЕ (КОРНЕВОЕ) ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Поглощение воды и питательных веществ через корни, т.е. корневое питание, тесно связано с углеродным питанием растений через листья. Фотосинтез и корневое питание, в сущности, едины, хотя и многоступенчатый процесс поглощения растениями необходимых питательных веществ из внешней среды, превращения воды, углекислоты и минеральных солей в многочисленные органические соединения с утилизацией солнечной энергии и при участии ферментов.

В наибольшем количестве растения поглощают азот, фосфор, калий, кальций, магний, серу. Эти элементы называют макроэлементами. Их содержание в растениях исчисляется целыми процентами или десятыми долями их. При сжигании органического вещества все элементы, кроме азота, остаются в золе, поэтому их часто называют зольными элементами. С водой в растение поступают кислород и водород.

Растениям необходимы также элементы, потребляемые ими в небольших количествах, но играющие важную роль в различных процессах обмена веществ. Микроэлементы – железо, бор, цинк, марганец, медь, молибден, кобальт, йод и др. Содержание их в растениях исчисляется сотыми и тысячными долями процента.

В растениях встречаются также элементы в ничтожно малых количествах, которые называют ультрамикроэлементами. К ним можно отнести серебро, золото, радий, уран, торий, актиний и др. Значение этих элементов в жизни растений очень мало изучено, хотя, несомненно, они играют определенную роль в биохимических процессах. Кроме перечисленных элементов растения поглощают и другие вещества, находящиеся в почве, которые хотя и не являются необходимыми, но могут в одних случаях действовать на растения положительно, а в других – отрицательно.

Каждый из биогенных элементов играет определенную физиологическую роль, и при недостатке какого-либо из них растения прекращают рост, заболевают, а при резком голодании могут даже погибнуть. При выращивании растений в различных почвенно-климатических условиях потребность их в каждом элементе неодинакова.

Основные органы, с помощью которых растение питается, – это лист и корень. Последний выполняет несколько функций, прежде всего поглощения минеральных веществ и воды из почвы. Правда, все другие органы также способны к поглощению ионов, но у корня эта функция более развита, и потому он выполняет ее несравненно эффективнее. Другой важной функцией корня является переработка поступивших ионов: их восстановление и включение в различные органические соединения, в том числе и биосинтез физиологически активных соединений.

У корней сильно развита поверхность и длина периферийных, наиболее глубоко проникающих частей. Благодаря им рассеянные в субстрате элемен-

ты минерального питания откладываются в верхних горизонтах почвы, где находится основная масса корней. Растения является, главным образом, не только потребителем почвенного плодородия, но и важнейшим его создателем.

При прорастании зерновки трогается в рост главный зародышевый корень, затем появляются несколько новых зародышевых корешков. После начала кущения от стебля у основания листьев образуются узловые, или, как их еще называют, придаточные, корни, которые формируют вторичную корневую систему, выполняющую ту же функцию, что и зародышевые корни. Каждый корень имеет три основные зоны:

1) зону роста и растяжения длиной 1,5 мм – именно за счет деления клеток верхушечной меристемы происходит рост корня;

2) зону корневых волосков, или всасывания, характеризующуюся наличием особых выростов – корневых волосков длиной до 1 мм, а длина самой этой зоны – 1–2 см;

3) зону боковых корней.

В полевых условиях выращивания основное значение в питании растений принадлежит зоне корневых волосков, так называемой поглощающей зоне.

Скорость поступления и передвижения питательных элементов в растении в сотни раз больше скорости таких физических явлений, как осмос и диффузия. Так, с помощью меченого углерода ^{14}C установлено, что углекислота из корней в листья передвигается за 10–15 мин. Скорость передвижения продуктов фотосинтеза из листьев в корни 40–100 см/ч. Еще быстрее поступают через корневую систему растений элементы питания, в том числе и внесенные в почву с удобрениями.

Например, что при погружении ячменя корнями в раствор, содержащий меченый фосфор ^{32}P , его находили в листьях через 5 мин. Из корешков четырнадцатидневной кукурузы он поступал в листья через 2 мин. Такая же скорость передвижения питательных элементов из почвы в корни и листья растений наблюдалась в опытах с пшеницей и другими культурами. Но вместе с тем скорость поглощения питательных веществ существенно изменяется с возрастом корня. Так, по мере старения растений кукурузы (с 20 до 80 дней) скорость поглощения N, P, K, Ca и Mg уменьшается в десятки раз и более.

Хотя молодые растения в абсолютных количествах поглощают во много раз меньше элементов минерального питания, чем взрослые, почва должна иметь высокое содержание этих элементов, чтобы достаточно удовлетворять высокую потребность корня в питательных веществах на ранних этапах его роста. Обычно корневые системы растений работают с неполным напряжением. При повышении концентрации питательных веществ в почве корни усиливают их поглощение. Например, при снабжении небольшой пряди корневой легкодоступной фосфорной кислотой в повышенной концентрации ин-

тенсивность поглощения фосфора этой небольшой частью корней резко увеличивается. Это объясняет эффективность локального внесения удобрений, несмотря на то, что в контакт с удобрениями входит небольшая часть корней.

Изучение функции зародышевых и узловых корней показало важную роль узла кущения в распределении воды и минеральных веществ. Узел кущения состоит из рыхлой пористой паренхимой 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 поглотительной способностью и играют более значительную роль в питании растений, чем первичные (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. Таким образом, различные зоны корня различаются по способности к поглощению ионов.

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, в частности цитокинин и др.

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

Активное поглощение и передвижение ионов осуществляются по системе, состоящей из протопластов клеток, связанных между собой тяжами протоплазмы – плазмодесмами. При пассивном передвижении ионы, достигнув поверхности корня, либо посредством массового тока, либо посредством диффузии попадают в свободное пространство корня и далее с транспирационным током передвигаются по растению. Клетки растений (в отличие от животных клеток) имеют рыхлые целлюлозные оболочки, которые, соединяясь между собой, образуют непрерывную систему, так называемый апопласт. По этой системе вследствие транспирации воды листьями и происходит ее движение с растворенными в ней веществами.

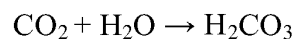
Ионы в свободном пространстве передвигаются и посредством диффузии. Диффузия всегда происходит от большой концентрации к меньшей. Процесс этот медленный, например краска флуоресцеин диффундирует за 1 ч на 55 мм, за 24 ч – на 25 мм, а за год – на 50 см. Поэтому диффузия не играет роли в передвижении растворимых веществ в растении на большие расстояния, например из корня в лист.

Ионы, вошедшие в контакт с корнем, адсорбируются клеточными стенками. Процесс адсорбции ионов корнями носит обменный характер. Высокую интенсивность обмена веществ, значительную скорость поступления и передвижения веществ в растениях можно объяснить адсорбционным обменом.

ном между корневой системой растений, с одной стороны, и почвенными коллоидами (твердая фаза), а также почвенным раствором (жидкая фаза) – с другой. Между корневой системой растений и почвенными коллоидами, а также почвенным раствором существует тесный контакт. Корни растений в почве сильно разветвлены. Они проникают на глубину 1,5–2 м, а у отдельных растений до 5–10 м и более. Например, в засушливые годы корни люцерны иногда проникают на глубину до 18 м. В ширину корни культурных растений распространяются на 30–65 см.

Корни и мельчайшие корешки, корневые волоски густой сетью опутывают почву и ее коллоидные частицы. И если учесть, что корневые волоски живут в течение одни или нескольких суток и что их число огромно (например, на 1 мм² поверхности корня кукурузы имеется 425 корневых волосков и больше, а в среднем у большинства сельскохозяйственных культур – 200–500), то станет ясным совершенный контакт, который существует между почвой и корневой системой растения, ее корневыми волосками, через которые поступает пища. Благодаря этому контакту и происходит процесс обменной адсорбции, сущность которого состоит в следующем. Питательные ионы (например, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺, NO₃⁻, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻) поступают в растения через корневую систему в обмен на ионы H⁺, HCO₃⁻, расположенные на поверхности корневых волосков и возникающие при дыхании корней. Корневая система растений выделяет большое количество углекислоты, например горчица за 85 дней жизни выделяет 22,5 ц CO₂ с 1 га, то же самое можно сказать и о других сельскохозяйственных культурах.

Появляющийся углекислый газ, реагируя с водой, образует углекислоту:



Как слабая кислота, она частично диссоциирует на ионы H⁺ и HCO₃⁻. Катионы почвы K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, NH₄⁺ и другие немедленно вступают в обменную реакцию и вытесняют с поверхности корневого волоска катион H⁺. Анионы же NO₃⁻, H₂PO₄⁻, SO₄²⁻ и другие обмениваются и вытесняются в раствор анионом HCO₃⁻.

Появившиеся на поверхности корневого волоска питательные катионы и анионы неизбежно входят в соприкосновение с базоидной (основной) и ацидоидной (кислотной) частями плазмы клетки, и здесь они дают начало различным органическим соединениям или передвигаются до листьев, где также синтезируются органические вещества. Передача ионов от клетки к клетке происходит по принципу адсорбции-десорбции от одной молекулы белка к другой вплоть до проводящей сосудистой системы корня. Этот физико-химический процесс протекает с большой скоростью.

Важно учесть, что поглощение питательных элементов корневой системой растений может происходить не только в обмен на ионы H⁺ и HCO₃⁻, образующиеся в процессе дыхания, но и на ионы органических и минеральных соединений, выделяемые корнями. Установлено, например, что корни

растений выделяют лимонную, яблочную, щавелевую и другие органические кислоты, которые слабо диссоциируют, но все же распадаются на H^+ и органические анионы. Эти ионы находятся на поверхности корневых волосков и могут принимать участие в обменных реакциях на соответствующие катионы и анионы почвенного раствора.

При более тесном контакте корневой системы с почвенным поглощающим комплексом поглощение питательных веществ растением протекает более интенсивно. Наилучшие условия питания растений создаются при достаточном количестве ионов, как в почвенном растворе, так и в адсорбционно-связанном состоянии.

Подтверждением существования адсорбционного поглощения питательных элементов является наличие определенной емкости поглощения катионов и анионов у корневых волосков, так же как и у почвенных коллоидов. Величина емкости поглощения корней зависит от вида растений, условий их питания и других факторов. Например, емкость поглощения катионов на 100 г сухого вещества корней составляла у бобовых культур 40–60 ммоль, у картофеля и томатов – 35–38, у злаков – 9–29 ммоль.

При питании растений азотом повышается емкость катионного поглощения у корней, что можно объяснить, по-видимому, большим синтезом белковых веществ. Значительную часть емкости катионного поглощения составляют ионы водорода (H^+), которые обмениваются на катионы почвенного раствора, необходимые для питания растений.

Анионное поглощение менее изучено, но в принципе оно аналогично катионному обмену. Важную роль здесь должен играть анион HCO_3^- . У многих культур анионный обмен количественно повышает катионный, что свидетельствует о наличии большого количества коллоидов активной части корней растений с положительным зарядом. Это первый этап поглощения ионов корнями. За адсорбционную способность клеток ответственны пектоцеллюлозные оболочки, обладающие способностью концентрировать вещества из окружающего свободного пространства.

Таким образом, клетки адсорбируют на своей поверхности положительно или отрицательно заряженные ионы минеральных солей, которые могут обменно вытесняться в свободное пространство другими ионами того же заряда.

Основным барьером для поглощения ионов и веществ является поверхностная мембрана, или плазмалемма. Способность растений поглощать или обмениваться ионами со средой в значительной мере зависит от свойств мембран. Отсюда понятны попытки исследователей воздействовать на мембраны в целях регуляции поступления ионов в корни. В этом отношении представляют интерес мембранно-активные соединения, с помощью которых можно воздействовать на ионный транспорт в растениях. К ним относятся антибиотики (валиномицин, грамицидин и др.), 2,4-динитрофенол, диметил-

сульфоксид, обладающий мягким действием. Он увеличивает проводимость сульфолипидного слоя мембран.

Поглощение питательных веществ – это сложный физико-химический и метаболический процесс, включающий диффузию, адсорбцию и метаболический перенос веществ против электрохимического градиента. Диффузия важна при перемещении питательных растворимых веществ в почве к корням растений, а обменная адсорбция – при поступлении питательных элементов в растение через корневую систему. В дальнейшем поступившие питательные элементы взаимодействуют с протоплазмой клетки метаболическим или неметаболическим путем.

Метаболическое поглощение и перемещение питательных веществ происходят очень быстро и зависят от аэробного дыхания, температуры и аэрации почвенного раствора. При этом поглощении важную роль играют макроэргические соединения, в частности АТФ, снабжающие энергией этот процесс.

Неметаболическое, или пассивное, поглощение непосредственно может быть связано с жизнедеятельностью растения и поэтому мало зависит от температуры и других условий жизни растительного организма. Примером неметаболического поглощения является пиноцитоз – захват части питательного раствора, при котором клетками молодых корешков могут поглощаться ионы, молекулы, их агрегаты и капельки раствора.

Существуют три механизма подачи питательных веществ к поверхности корня: 1) корневой перехват, 2) массовый поток, 3) диффузия. Вклад каждого из этих механизмов зависит от интенсивности поглощения веществ корнем и от обеспеченности почвы питательными веществами.

Корневой перехват. Корни в процессе роста движутся в почве, соприкасаясь с питательными веществами, поглощают их. Доля корневого перехвата в питании небольшая, так как объем корневой системы в почве на глубине 15 см не превышает 0,5–2% от общего объема почвы.

Корневой перехват играет существенную роль при содержании в почве питательных веществ в больших количествах по сравнению с потребностями растения. Если же их меньше, чем это нужно для обеспечения максимальной потребности растений, большая часть питательных веществ, усваиваемых корнями, обеспечивается массовым потоком и диффузией.

Массовый поток. Корни растений поглощают из почвы воду, что вызывает движение почвенного раствора через толщу почвы к корням. Так как в почвенном растворе содержатся питательные вещества, то они и переносятся массовым потоком к поверхности корня, становятся доступными для поглощения.

В зависимости от вида растения и погодных условий интенсивность потока воды может сильно изменяться, но обычно она находится в пределах от 1 до $6 \times 10^{-7} \text{ см}^3$ воды на 1 см^2 корневой поверхности в секунду.

Диффузия. Поглощение корнем питательного вещества сопровождается уменьшением его концентрации у поверхности корня и возникновением градиента концентрации. А это делает возможной диффузию питательного вещества к корню. Скорость диффузии ионов через почву изменяется в зависимости от типа почвы и природы поглощения ионов почвой. Для ионов, не адсорбируемых почвой, например, нитратов, градиент концентрации (соотношение между ионами в растворе и ионами, адсорбируемыми на поверхности почвенных частиц) может достигать 1. Для сильно поглощаемых почвой ионов, таких, как фосфат, это соотношение может быть 10^{-4} . Чтобы корень мог поглотить ион нитрата, последний может находиться от него на расстоянии до 1 см и даже более, а для поглощения иона фосфата – не более 0,1 см. Между тем корни однолетних растений часто размещены в почве друг от друга в среднем на расстоянии 0,5 см, для различных питательных элементов участие указанных механизмов неодинаково. Так, фосфор и калий доставляются к корням в основном путем диффузии, а кальций и магний – посредством массового потока.

Массовый поток приобретает важную роль при более высокой концентрации нитратов в почвенном растворе (около 10 моль $\text{NO}_3^-/\text{л}$). При низких концентрациях нитрата большое значение имеет диффузия. Концентрация нитратов в прикорневом слое почвы в 3–4 раза выше, чем в почве некорневого слоя, что особенно заметно при внесении высоких доз азота (120 кг/га). Такое повышение концентрации нитратов в почве, прилегающей к корню, связано с тем, что нитраты передвигались по корню путем массового потока, но при этом скорость поглощения воды корнями (и транспирация) была выше скорости поглощения нитратов. Поскольку и массовый поток, и диффузия в основном зависят от концентрации соответствующего вещества в почвенном растворе, уровень питательных веществ почвенного раствора является фактором, в первую очередь определяющим доступность питательных веществ растению.

Все, что сказано о механизмах подачи питательных веществ к поверхности корня, относится в той их части, которая находится в почвенном растворе и наиболее доступна для непосредственного использования растениями. Но они составляют незначительную часть от общего запаса питательных веществ почвы.

Растение не является только потребителем уже готовых для него питательных веществ в почве. Корни растений активно воздействуют на почву, находящуюся у их поверхности. Хорошо известна способность корней выделять во внешнюю среду органические и минеральные вещества (сахара, органические кислоты, азотсодержащие органические соединения, витамины, ферменты и др.). Выделенные корнями органические вещества служат пищей для микроорганизмов, которые в процессе жизнедеятельности способствуют мобилизации питательных веществ почвы, повышая их доступность для растений в участках, непосредственно примыкающих к корням. Но значенис

микроорганизмов состоит не в том, что они снабжают растение органическими формами азота и фосфора, которые по эффективности уступают минеральным. Микроорганизмы снабжают растения физиологически активными веществами (ауксинами, витаминами, антибиотиками), которые в определенных условиях могут даже в ничтожных количествах оказывать положительное влияние на рост растений, а также на различные стороны обмена, в частности на обмен азотистых веществ.

Такое действие корневых выделений растений на доступность питательных веществ почвы с помощью ризосферных микроорганизмов является косвенным. Растения оказывают и прямое воздействие на труднодоступные для них соединения почвы (особенно фосфора), переводя их в усвояемые формы. Еще Д.Н. Прянишников доказал способность люпина, гречихи, горчицы использовать фосфор трехзамещенных фосфатов или естественных фосфоритов. Способность этих растений усваивать фосфор труднодоступных фосфатов связывается, прежде всего, с кислотностью корневых выделений. Так, в растворе, окружающем корневые волоски люпина, рН составляет 4–5, а клевера – 7–8. Отсюда понятно, почему фосфоритная мука оказывается более эффективной при внесении на сильнокислых почвах, где она в кислой среде постоянно переходит в растворимую и доступную растениям форму. Роль корневой системы исключительно важна и в синтетических процессах. Корни являются не только органами накопления и передачи из почвы питательных веществ, но и органами синтеза органических веществ. Например, анион NO_3^- восстанавливается в корнях до NO_2 , NH_3 , а NH_3 присоединяется к дикарбоновым кислотам с возникновением аминокислот, которые впоследствии дают белковые молекулы. В живых клетках корней и затем в надземной части растений могут превращаться и частично ассимилироваться также поступившие из почвы анионы H_2PO_4^- , SO_4^{2-} . Уже через 10–15 минут после поглощения корнями меченый азот сульфата аммония находят в них в составе аминокислот. В корнях растений синтезируется до 14–16 аминокислот из 20, входящих в белок (Минеев В.Г., 2004).

Синтетическая деятельность листа и корня растений тесно связаны. Например, с увеличением поступления питательных веществ через корни усиливаются дыхание и приток к ним углеводов из листьев, а из корневой системы в надземную часть до листьев и генеративных органов движутся аминокислоты и другие органические соединения. Факторы, отрицательно влияющие на поступление питательных веществ через корни или на фотосинтез, приведут к нарушению синтетических процессов во всем растении.

Открытие разнообразной синтетической деятельности корневой системы – одно из самых крупных достижений науки в XX столетии в области физиологии корневого питания растений. Корень – такая же лаборатория синтеза, как и лист, т.е. биосинтез сложных органических веществ происходит при взаимосвязанной синтетической деятельности листа и корня.

Энергия для всех жизненно необходимых превращений и передвижений веществ освобождается при дыхательных процессах, непрерывно совершающихся во всех живых клетках и тканях растений. Во всех этих передвижениях и превращениях видную роль играет белковая плазма клетки, которая имеет двойную природу – базоидную и ацидоидную. В белковой плазме, ее молекулах ацидоидная и базоидная части расположены мозаично, так что при передвижении питательных веществ от клетки к клетке происходят постепенный обмен и взаимодействие катионов и анионов с положительно заряженными (базоидными) и отрицательно заряженными (ацидоидными) частями белковых молекул плазмы клеток. Это свойство живой клетки нужно всегда учитывать, чтобы понять процессы поступления, перемещения и превращения питательных веществ в растительных организмах.

Растению присуща избирательная способность: оно поглощает больше тех элементов, в которых нуждается, и меньше те, которые ему не нужны. Это объясняется физиологическими законами живого организма. Например, при внесении в почву селитры NaNO_3 растение больше поглощает анион NO_3^- и меньше катион Na^+ . При внесении сульфата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ растение больше поглощает катион NH_4^+ и меньше анион SO_4^{2-} и т.д. Вещества, физиологически необходимые растению, по мере поступления через корни тут же подвергаются процессам, в частности органические, т.е. уходят с адсорбционной поверхности корневого волоска. А те вещества, в которых растения не нуждаются, не подвергаются изменению, остаются в нем в минеральной, легкорастворимой ионной форме в том же виде, в каком были до поступления в растение.

После выравнивания их концентрации в клеточном и почвенном растворах на поверхности корневого волоска и на поверхности почвенных коллоидных частиц они перестают поступать в растение, так как поступление ионов из почвы происходит по принципу адсорбции-десорбции (адсорбируется столько, сколько и десорбируется, согласно закону действующих масс). Нужные же растению питательные элементы (их анионы и катионы) будут усваиваться благодаря синтезу из них органических соединений, т.е. исчезать с поверхности волосков. И, следовательно, равновесие нужных ионов будет постоянно нарушаться до тех пор, пока будут усваиваться эти питательные вещества растением.

Об избирательности поглощения питательных веществ растениями и активном поступлении из почвенного раствора в корни свидетельствует тот факт, что концентрация солей ряда элементов питания в клеточном соке растений гораздо выше, чем в питательном растворе, в который погружена корневая система. Например, концентрация калия в пасоке кукурузы была в 20 раз, фосфора – в 14, а кальция – в 4 раза выше, чем во внешнем питательном растворе.

С завершением жизненного цикла приостанавливается поступление питательных веществ в растения, прекращается использование катионов и

анионов и наступает равновесие концентрации их на поверхности корневого волоска и в почвенном растворе, а также на поверхности коллоидных частиц.

Так как растения избирательно поглощают ионы (одних больше, других меньше, в зависимости от физиологической потребности в них), то минеральные удобрения (соли) могут быть или физиологически кислыми, или физиологически щелочными. Если растение больше поглощает катионы соли, а анионы ее больше накапливаются в почвенном растворе, то такая соль будет физиологически кислая. Например, физиологически кислыми являются такие минеральные удобрения, как сульфат аммония, хлористый аммоний, аммиачная селитра, хлористый калий и др. Если же растение больше поглощает анион соли, а катион ее накапливается в почвенном растворе, то такая соль будет физиологически щелочной. К ним относятся натриевая селитра, кальциевая селитра и др.

Поступление питательных веществ в растение происходит избирательно и зависит от интенсивности дыхательных процессов и прежде всего от энергии дыхания корней и выделения ими ионов H^+ и HCO_3^- . Важную роль играет степень развития корневой системы, увеличение ее поглощающей поверхности и усваивающей способности.

В жизни растения можно различить два периода питания, с которыми следует считаться при использовании удобрений. Первый, получивший название критического, совпадает с начальными фазами роста и развития большинства растений. В этот период растения особо чувствительны как к недостатку, так и к избытку питательных веществ. Химический состав растения в начальные фазы роста характеризуется высоким содержанием азота и многих зольных элементов. В этот период растения предъявляют повышенные требования к условиям минерального питания.

Второй период получил название периода максимального потребления питательных веществ. Он характерен для более поздних фаз развития и определяется биологическими особенностями растений. Поступление питательных веществ в злаковые растения, за исключением кукурузы, к концу колошения почти заканчивается, хотя к этому времени они образуют не более 50–60% растительной массы от полного урожая (табл. 1). Так, озимая пшеница при хорошем развитии уже в осенний период усваивает азота и калия 43–47%, в то время как сухая масса растений составляет не больше 10% полного урожая. Это полностью относится к озимой ржи, которая за осенний период усваивает до 50–60% азота, фосфора и калия. Ячмень и овес уже в фазу цветения поглощают 100% калия, а после происходит даже потеря этого питательного элемента (экзосмос, или выделение). Накопление питательных веществ кукурузой происходит медленнее. Даже к началу цветения поступает только 30–40% азота и калия и 15% фосфора от содержания этих элементов в кукурузе при ее созревании.

Таблица 1

Динамика накопления питательных элементов в растениях, % от максимума									
Срок и фаза роста	Озимая пшеница			Ячмень			Овес		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Осень и ранняя весна	47	30	43	-	-	-	-	-	-
Начало колошения	69	65	68	71	56	73	51	36	54
Цветение	90	93	95	96	74	100	82	71	100
Полная спелость	100	100	82	100	100	64	100	100	83

Сахарная свекла, картофель, капуста и другие овощные культуры отличаются более продолжительным или растянутым периодом питания. Азот, фосфор и калий они усваивают почти в течение всего вегетационного периода (табл. 2).

Таким образом, период питания не равен периоду вегетации растений. У многих растений он значительно короче периода вегетации (конопля и большинство злаковых культур). У других же культур он растянут и почти совпадает с периодом вегетации растений (сахарная свекла, картофель, капуста и другие овощные культуры).

Таблица 2

Динамика поступления питательных элементов в растениях сахарной свеклы (данные Научно-исследовательского института сахарной свеклы), % от максимума

Дата наблюдения	Сухое вещество		Азот	Фосфор	Калий
	корень	ботва			
5/VI	0,3	2,3	2,7	2,4	2,6
15/VI	1,1	8,2	9,6	8,5	9,2
1/VII	6,8	35,7	36,0	39,0	35,0
15/VII	16,7	48,0	51,0	46,0	46,0
1/VIII	33,0	64,0	68,0	68,0	69,0
15/VIII	46,0	63,0	77,0	77,0	73,0
1/IX	60,2	73,0	85,0	87,0	85,0
15/IX	85,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/X	93,0	77,0	89,0	90,0	91,0
15/X	100,0	58,0	-	-	-

Итак, питание растений с учетом их биологических особенностей можно регулировать по периодам роста, что позволяет формировать величину и качество урожая. Периодичность питания растений является теоретическим обоснованием дробного внесения удобрений (в разные сроки и в разные слои почвы).

Внесением удобрений в один прием и в один слой почвы не всегда можно добиться полного использования их потенциальных возможностей. Дозы легкорастворимых минеральных удобрений, достаточные для критического периода питания, будут малы для периода максимального потребления питательных веществ. И наоборот, большая доза вредна для первого (критиче-

ческого) периода, когда молодые корешки растения чувствительны к высокой концентрации питательных веществ. Вот почему правильная система питания растений предусматривает сочетание основного (на глубину 18–25 см), припосевного удобрения (на глубину 5–8 см) и подкормок в период роста растений (на глубину 10–15 см).

Тема 8. СВЯЗЬ МЕЖДУ УГЛЕРОДНЫМ (ВОЗДУШНЫМ) И МИНЕРАЛЬНЫМ (КОРНЕВЫМ) ПИТАНИЕМ РАСТЕНИЙ

В зависимости от ряда внешних и внутренних факторов поглощения вещества могут накапливаться в растениях, не оказывая значительного влияния на урожай. Так, с повышением доз минеральных удобрений их эффективность постепенно затухает, и при дальнейшем увеличении доз может даже начаться снижение урожая. Причины такого явления следующие.

1. Повышение концентрации почвенного раствора до уровней, которые могут быть токсичными.
2. Нарушение нормального соотношения химических элементов и ионов в почвенной среде, возникающее при внесении высоких доз удобрений.
3. Недостаток влаги в почве и углекислого газа в воздухе посева.
4. Чрезмерное разрастание вегетативной части, и, прежде всего листьев, что приводит к ухудшению освещенности внутри посевов и в результате к снижению интенсивности фотосинтеза.

Наиболее важный из этих факторов – водообеспеченность. Человек может ее регулировать (например, путем орошения). Оптимальные факторы (соотношение элементов минерального питания, осмотическое давление почвенного раствора, недостаток CO_2) хотя в какой-то мере и уменьшают положительное влияние удобрений, но не являются решающими (рис. 14).

Регулирование процесса фотосинтеза и изыскание приемов, направленных на значительное повышение коэффициента использования солнечной энергии, – важный путь резкого повышения продуктивности земледелия, и, следовательно, увеличения количества сельскохозяйственных продуктов. Условия минерального питания оказывают на фотосинтез прямое и косвенное действие. Азот, например, принимает непосредственное участие в синтезе аминокислот – продуктов фотосинтеза, а косвенно он участвует в образовании зеленых пигментов в растении (хлорофилла) и в синтезе белков – элементов структуры хлоропластов, а также ферментов, ответственных за различные реакции фотосинтеза. Это проявление косвенного влияния. Прямое действие фосфора заключается в том, что остатки фосфорной кислоты входят в состав акцептора – соединения, связывающего CO_2 , и промежуточных продуктов фотосинтеза. Кроме того, с помощью световой энергии из неорганического фосфора и аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) синтезируется аденозинтрифосфорная кислота (АТФ), участвующая в реакциях восстановления CO_2 . Косвенное действие фосфора состоит в том, что фосфаты входят в состав фосфатидов и фосфопротеидов, а также нуклеиновых кислот. Калий оказывает на фотосинтез, по-видимому, лишь косвенное действие, влияя на структуру фотосинтетического аппарата и активизируя ряд ферментов. Для нормального процесса фотосинтеза необходим и ряд других элементов (Mg, Mn, Fe, B, Mo и т.д.).

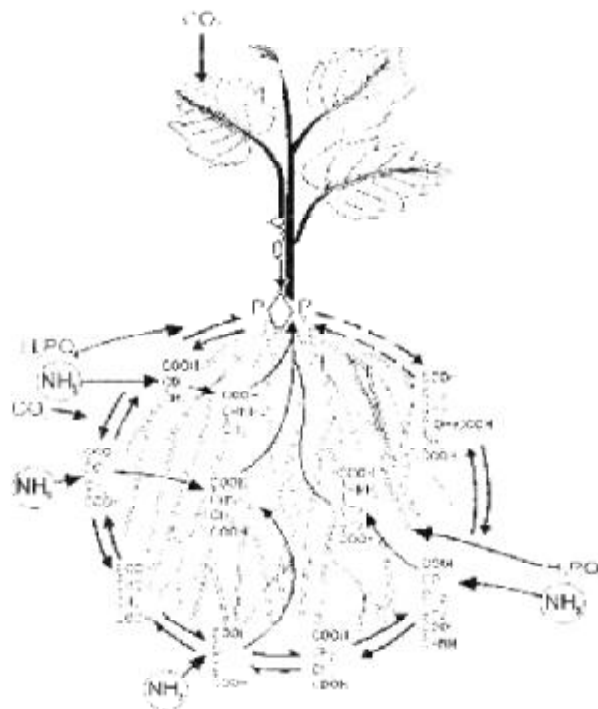


Рис. 14. Круговорот веществ и метаболическая роль корней (Минеев В.Г., 2004)

Деятельность корней, поглощающих минеральные вещества, и фотосинтезирующих листьев тесно скоординирована. В частности, поглощение азота корнями и его усвоение тесно связаны с фотосинтезом. Все синтетические превращения азота, как в корнях, так и в надземных органах происходят с использованием энергии углеродных цепей, образованных в процессе фотосинтеза. Многие реакции непосредственно сочетаются с фотосинтезом и зависят от интенсивности света и концентрации CO₂. Так, в хлоропластах совершается светозависимое восстановление значительной части нитратов, поступающих в растение.

Очень наглядно координация между поглощением азота и фотосинтетической деятельностью листьев выявилась в опытах с растениями тыквы с применением меченого углерода ¹⁴C. Если растения помещали корнями в дистиллированную воду, то поток ассимилятов к корням ослабевал, а образование в них органических кислот, являющихся акцепторами аммиака, заметно уменьшалось. При помещении же таких растений корнями в раствор сернокислого аммония приток ассимилятов из листьев к корням уже через час заметно усиливался. При этом в корнях ускорялось превращение сахаров в кетокислоты, а это приводило к тому, что корни приобретали большую способность к усвоению азота питательного раствора и синтезу большего количества азотсодержащих соединений. В свою очередь, ухудшение освещенно-

сти листьев приводит к снижению интенсивности усвоения элементов минерального питания и наиболее важного из них – азота.

Другим примером может служить взаимосвязь между корневым и некорневым питанием. Нанесение раствора мочевины на листья кукурузы (в период листообразования) тормозит в течение одной-двух недель поглощение азота корнями. Это связано с тем, что листья сами начинают использовать продукты фотосинтеза для связывания аммиака, что уменьшало приток ассимилятов к корням и снижало их способность к поглощению и усвоению азота почвы.

Одним из проявлений воздействия азота на фотосинтез является его влияние на рибулезодифосфат (РДФ)-карбоксилазу – ключевой фермент усвоения углекислого газа. При улучшении условий азотного питания увеличиваются количество этого фермента и его активность, что усиливает первичное связывание углерода с помощью РДФ-карбоксилазы. Однако усиление интенсивности усвоения CO_2 при повышении уровня азотного питания происходит лишь до определенного предела. При сверхоптимальных дозах образование этого белка-фермента продолжается, но удельная активность его снижается. Поэтому суммарная активность РДФ-карбоксилазы в этих условиях либо остается на уровне оптимального варианта, либо снижается.

Условия азотного питания оказывают влияние не только на интенсивность фотосинтеза, но и интенсивность потока ассимилятов в аттрагирующие центры (точки роста, развивающиеся репродуктивные органы). Недостаток азота, фосфора или калия уменьшает их отток из листьев. Наибольшая интенсивность поступления продуктов фотосинтеза, например, к колосьям пшеницы в фазе колошения была на полной питательной смеси, меньшая – при недостатке фосфора, еще меньшая – при недостатке азота. У хлопчатника усиление оттока продуктов фотосинтеза из листьев в плод-элементы также наблюдалась при внесении азотных удобрений.

Усиление азотного питания положительно влияет на интенсивность оттока ассимилятов, по-видимому, в том случае, когда растения испытывают острый недостаток в азоте. При более или менее достаточной обеспеченности растений азотом дополнительное его внесение не только не ускоряет отток, но и тормозит его. Например, при одностороннем усилении азотного питания снижается интенсивность оттока ассимилятов из листьев в колосья. Одновременное внесение вместе с азотом фосфора и калия в какой-то степени снимает тормозящее действие азотных удобрений.

При обильном снабжении растений азотом отток ассимилятов из листьев ослабляется вследствие того, что в листьях возникают условия для более продолжительного их роста, и они работают «на себя». Кроме того, при избытке азота усиливается рост побегов и корней, и они также становятся потребителями продуктов фотосинтеза. В результате снабжение репродуктивных и запасующих органов продуктами фотосинтеза ухудшается. Так, при усиленном азотном питании (особенно при азотных подкормках) снижается

сахаристость корнеплодов сахарной свеклы. Избыток азота понижает крахмалистость клубней картофеля и может даже привести к снижению общего урожая.

Повышение продуктивности фотосинтеза растения при усиленном азотном питании происходит в результате увеличения площади ассимиляционной поверхности и продолжительности жизнедеятельности листьев и других фотосинтезирующих органов. Например, у пшеницы под влиянием удобрений, особенно азотных, хлорофилльный фотосинтетический потенциал возрастает в 1,5–2 раза, при этом изменяется величина участия отдельных органов в процессе фотосинтеза; увеличивается доля верхнего листа, а также колоса и стебля. Однако эффективность работы хлорофилла (CO_2 в расчете на единицу хлорофилла) и чистая продуктивность фотосинтеза (CO_2 на единицу площади листьев) под влиянием азота немного снижается. У ячменя при внесении доз удобрений, рассчитанных на получение хорошего урожая, поверхность 1–5-го листьев (считая снизу) возрастает в 1,5–2 раза, а 6–7-го – в 3–5 раз. При этом сокращается период функционирования нижних листьев (1–4-го), очевидно из-за затенения их листьями верхнего яруса, площадь которых значительно увеличивается. Однако увеличение площади листовой поверхности благоприятно отражается на урожае лишь до определенного предела (обычно 4–5 м² площади листьев на 1 м² посева). Затем происходят сильное самозатенение листьев, ухудшение освещенности внутри посевов, отмирание нижних листьев, усиленный дополнительный рост растений в длину в погоне за светом, снижение средней интенсивности фотосинтеза, увеличение потерь на дыхание. Часто следствием этого являются полегание растений, снижение урожая и его качества.

Разумеется, что такое действие азотных удобрений на ростовые процессы происходит в условиях достаточной обеспеченности растений водой. При ограниченном водоснабжении нет опасности чрезмерного роста растений, но и эффективность азотных удобрений будет низкой.

Существует и другой, более быстрый способ передачи информации между листьями и корнями посредством потенциала действия. Потенциал действия (ПД) – это быстрый выброс из клетки ионов K^+ и следующее за ним быстрое поглощение из наружного раствора ионов Na^+ и, возможно, Ca^{2+} . Этот импульс ПД быстро распространяется по растению аналогично нервному импульсу у животных организмов. Если голодающему растению дать через корни фосфор или азот, возникает ионный поток ПД, который быстро распространяется по проводящим пучкам стебля к листьям. При этом фотосинтез в листьях усиливается еще до того, как поглощенный элемент дойдет до них (Минеев В.Г., 2004).

Таким образом, повышение продуктивности растений под действием минеральных удобрений, в частности азотных, неразрывно связано с повышением продуктивности фотосинтеза и использования солнечной энергии.

Тема 9. ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫМИ КЛЕТКАМИ

Обмен веществ между растениями и окружающей средой осуществляется через поверхностно расположенные клетки корневой системы и надземных органов. Известно, что клеточные стенки легкопроницаемы; радиус ионов минеральных солей 0,4–0,6 нм, а средний радиус каналов в клеточной стенке 5–20 нм (рис. 14).

В растительных органах питательные элементы находятся значительно в более глубоких концентрациях, чем в окружающем их питательном растворе.

К настоящему времени утвердилось представление о том, что транспорт электронов элементов питания в клетке обеспечивается двумя автономными механизмами – пассивным током веществ по электрохимическому градиенту и их активным переносом против электронного градиента. Так как ионы несут электрический заряд, то их распределение между клеткой и средой определяется как разность электрических потенциалов, так и разность концентраций. Суммарно эти две величины принято обозначать как электрохимический градиент.

Соотношение различных механизмов транспорта элементов питания изменяется в онтогенезе растений и зависит от многих условий.

Предполагается, что передвижение ионов по градиенту электрохимических потенциалов, определяемых зарядом ионов и разностью концентраций, пассивно, а против него – активно.

Элементы питания влияют на интенсивность фотосинтеза прямо или косвенно через обмен веществ за период вегетации. Прямое действие на фотосинтез связано с тем, что они входят в состав ферментов, пигментов и активаторов. Марганец – активатор фотосинтеза, участвует в транспорте протонов через мембрану тилакоидов; Fe, Co, Cu содержатся в ферментах, фосфат в нуклеотидах. Недостаток питательных веществ, нарушение их соотношения влияют на содержание хлорофилла, на число, размеры и ультраструктуру хлоропластов. При хлорозе, растения ведут себя как типично теневые и не могут использовать интенсивный свет, сильно сокращается жизнедеятельность листьев и уменьшается их размер.

Тема 10. ВИЗУАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ДЕФИЦИТА ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ

Для контроля за питанием сельскохозяйственных культур в течение вегетации используют метод растительной диагностики – определение обеспеченности растений питательными элементами по их состоянию: внешнему виду, темпам роста и развития.

Наиболее простым и доступным методом определения дефицита элементов питания растений является визуальная диагностика, основанная на распознавании признаков их недостатка или избытка по внешнему виду.

В поле сначала проводят предварительное обследование посевов: отмечают однородность или неоднородность растительного и почвенного покрова; встречаются ли растения с признаками повреждения болезнями, вредителями, замедленного роста; нет ли признаков влияния засухи, избыточного увлажнения или заболачивания почв, нарушения обработки почвы. Если эти факторы не встречаются, то предполагают нарушение питания растений. Затем обращают внимание, на каких ярусах у культур располагаются листья с признаками дефицита питания – нижних или верхних. Это очень важный диагностический признак, поскольку все элементы питания по способности к повторному использованию растениями можно разделить на две группы:

1) легкореутилизируемые – азот, фосфор, калий, магний. При недостатке данных элементов растения могут перераспределять их из старых, нижних листьев в молодые и вновь образующиеся верхушечные. В этом случае признаки дефицита проявляются на нижних, старых листьях, т.е. в нижнем ярусе растений;

2) труднореутилизируемые элементы – кальций, сера, хлор, железо, микроэлементы. Данные элементы остаются в органах, образовавшихся в начале роста – недостаток питания проявляется в точках роста и на молодых, верхних листьях. Внешние признаки дефицита питания в обоих случаях могут быть одинаковыми, но если они обнаружены на нижних листьях, то не хватает элементов первой группы, если на верхних – то элементов второй группы.

Следует также обратить внимание на высоту растений, степень кущения или ветвления, синхронность развития растений (например, в фазу молочной спелости семян у озимого рапса уже не должно быть цветущих экземпляров), форму органов, число, окраску и расположение листьев, количество цветов, завязей, форму и выполненность колоса, число зерен в колосе, наличие деформаций стебля, колоса, плодов, очагов опробковения, пятен на плодах, на форму и длину корня, наличие на нем вздутий, гнили снаружи и внутри, пустот. Все это может облегчить дифференцирование дефицита одного элемента питания от другого.

Сопоставление внешнего вида растений и результатов растительной диагностики позволяет сделать правильный вывод о необходимости внесения удобрений (табл. 3, 4).

Визуальная диагностика – это оценка состояния растений по внешним признакам, которые изменяются как от недостатка, так и от вредного избытка какого-либо элемента питания. Нарушения питания проявляются на изменениях окраски и формы листьев, угнетении роста побегов и развития генеративных органов, ухудшении состояния посева.

Необходимо учитывать особенности использования растениями разных элементов питания, которые по этому признаку можно разделить на две группы:

1) Азот, фосфор, калий и магний – это элементы, которые реутилизуются в растении. Поэтому недостаток элемента этой группы, прежде всего, проявляется на нижних, более старых листьях и других органах нижнего яруса, из которых дефицитный элемент транспортируется в верхние, молодые, развивающиеся листья и органы.

Таблица 3

Определение потребности растений в удобрении путем сопоставления состояния растений с содержанием в них питательных элементов (по Г.Л. Нелюбовой, В.В. Церлинг)

Состояние растения (масса и внешний вид)	Концентрация питательного элемента в растении	Причины состояния растения	Потребность в удобрении (подкормке)
Плохое (рост очень сильно подавлен)	Равна или выше оптимальной	Нарушены другие факторы роста кроме питания данным элементом	Не требуется
Очень плохое (рост очень сильно подавлен, есть признаки голодания)	Очень низкая (ниже 50% от оптимальной)	Строе голодание	Требуется в повышенной дозе (1,5–2 дозы)
Ниже среднего (рост значительно подавлен)	Низкая (70–75% от оптимальной)	Значительный недостаток питания	Необходима полная доза
Среднее или лучше среднего (рост подавлен на 20% по сравнению с оптимальным)	Ниже оптимальной	Умеренный недостаток питания	Требуется в пониженной дозе ($\frac{2}{3}$ или $\frac{1}{2}$ дозы)
Выше среднего или близко к хорошему	Немного ниже оптимальной	Начало недостатка питания	Нужна повторная диагностика через неделю или подкормка ($\frac{1}{3}$ дозы)
Хорошее (рост и внешний вид нормальные)	Оптимальная	Оптимальные условия питания и жизнедеятельности	Не требуется
Хорошее	Выше оптимальной	Избыточное питание	Необходимо изменить соотношение элементов питания в системе удобрений
Среднее или плохое с признаками токсичности	Очень высокая	Вредный избыток питания	

Таблица 4

Определение потребности в удобрениях по внешнему виду растений (по Н.Д. Спиваковскому)

Характерные признаки недостатка питательных веществ 1	Чем вызваны 2
Ослабленный рост побегов, особенно боковых, при нормальной влажности почвы	Недостатком азота и, возможно, фосфора
Листья бледно-зеленого, слегка желтоватого цвета, но нормального размера	Недостатком азота
Появление желтой, оранжевой, красной и пурпурной окраски на старых листьях	Недостатком азота
Вертикальное положение листьев на побеге, побег слегка изогнут	Недостатком азота
Листья мелкие, желтоватого цвета, рано опадают	Острым недостатком азота
Слабое цветение растений во время плодоношения	Недостатком азота и, возможно, фосфора
Листья мелкие, тусклой синевато-зеленой окраски с пурпурным оттенком. У черной смородины также наблюдается появление бурых, тускло-бронзовых пятен, плохое созревание и очень кислый вкус ягод	Недостатком фосфора
Мякоть плодов косточковых мягкая, вздутая, кислая, плохого вкуса	Недостатком фосфора
Слабое образование усов у земляники	Недостатком азота и фосфора
Тонкие побеги при нормальной длине	Большое отношение азота к калию в почвенном растворе
Неравномерное созревание плодов у яблони и ягод у черной смородины. Деревянистая и кислая мякоть плодов	Недостатком калия
Появление «ожога» листьев от краев пластинки к середине. У черешни, персика и сливы помимо такого ожога хлороз тканей между жилками, крапчатость, иногда скручивание внутри листа	Острым недостатком калия
Отмирание у яблони, смородины и крыжовника точек роста, верхушек побегов, ожог и закручивание сверху листьев (в первую очередь верхних) недостатком кальция	Недостатком кальция
Отмирание сердечек и тканей листа земляники	Недостатком кальция
Появление красных полос по краям листьев у крыжовника	Острым недостатком магния
Некроз или хлороз тканей листа между жилками, коричневая пятнистость листьев между жилками	Недостатком магния

Окончание

1	2
Неполное созревание плодов у яблони	Недостатком магния
Преждевременное опадение нижних листьев на побегах, верхние листья остаются в виде розетки недостатком магния	Недостатком магния
Хлороз (сильное пожелтение и даже побеление листьев, сплошное по всей пластинке) появляется на молодых, верхушечных листьях	Недостатком усвояемого железа в связи со щелочной реакцией, вызванной избытком в почве углекислых солей кальция, магния, натрия и калия
Пятнистый хлороз	Недостатком магния
Утолщение листьев яблони, гофрированность, образование желтых жилок, опробковенные жилки	Недостатком бора
Прекращение роста молодых веточек у яблони и образование на них многочисленных почечек и розеток	Недостатком бора
Опробковение внутренних тканей у плодов яблони и груши, сухая пятнистость	Недостатком бора
Побурение и растрескивание, уродливость плодов, появление на их поверхности темно-зеленых вдавленностей, отмирание у яблони концов побегов	Недостатком бора
Образование у малины мелких, деформированных, с хлорозом тканей между жилками у верхушки побега, листья несколько более развиты и собраны в розетку	Недостатком цинка
Плоды мелкие, заостренные или уродливые	Недостатком цинка
Отмирание побегов и ветвей, особенно у верхушки дерева	Недостатком цинка
Быстрое побурение мякоти плода при снятии кожицы	Недостатком цинка
Хлороз между жилками листа, начинающийся у его края и распространяющийся к центральной жилке	Недостатком марганца
Отмирание у яблони концов побегов, загибающихся книзу. Края листьев обожженные и рваные	Острым недостатком меди
Хлороз тканей между жилками молодых листьев	Слабым недостатком меди

2) Кальций, сера, железо, почти все микроэлементы – это трудно утилизируемые элементы. При их недостатке страдают верхние, молодые листья, точка опоры.

При визуальной диагностике удобно использовать специальные атласы, в которых на цветных рисунках показаны признаки голодания растений.

Содержание микроэлементов в различных органах растений имеет определенные закономерности. Так, марганец и молибден содержится в больших количествах в листьях, а цинк, бор, кобальт и медь накапливаются в вегетативных и генеративных органах. Для зерновых культур характерно высокое содержание бора в зерне, а для бобовых растений в вегетативных органах.

Многие растения обладают способностью концентрировать определенные элементы питания. Так, молибден и сера концентрируются в бобовых растениях, бор в свекле.

В основе визуальной диагностики лежит изменение окраски, появление на листьях и стеблях пятен, полос, некрозов тканей, а также отклонения в анатомии и морфологии растений, которые описаны в данном пособии.

Тема 11. МЕТОД ИНЪЕКЦИИ ИЛИ ОПРЫСКИВАНИЯ РАСТЕНИЙ РАСТВОРАМИ СОЛЕЙ

Когда недостатки двух или трех элементов сходны между собой и их трудно внешне дифференцировать, применяют метод инъекции или опрыскивания растений слабыми растворами солей этих элементов. Растворы солей вводят в стебель или жилку листа либо опрыскивают небольшие участки, отдельные растения или листья в десятикратной повторности. Инъекции проводят путем палочения на поперек жилки снизу листа на 2 часа ватного тампона, смоченного раствором. Опрыскивание отдельных листьев проводят с помощью пульверизатора. В сущности, этот метод представляет собой микрополевой опыт с удобрениями, объектом изучения могут быть небольшие участки, отдельные растения или даже листья. Результат может проявиться через несколько часов (12 часов и более) или дней (7 и более). Рекомендуется использовать растворы следующей концентрации (табл. 5).

По истечении указанных сроков производят сравнение обработанных и необработанных растений. Если растения недостаточно обеспечены именно тем элементом, который был введен, то будет улучшение их состояния, что позволит сделать заключение о необходимости обработки всего массива посевов.

Таблица 5

Растворы, используемые для инъекций

Элемент	Вещество	Концентрация раствора, %
N	Мочевина	0,1
P	Монофосфат натрия (NaH_2PO_4)	0,1
K	Хлористый калий (KCl)	0,5
Ca	Хлористый кальций (CaCl_2)	0,5
Mg	Сернокислый магний (MgSO_4)	0,1
Fe	Хлористое железо (FeCl_3)	0,25 (по Fe)
Mn	Марганцевокислый калий (KMnO_4) или сернокислый марганец ($\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	0,05 (по Mn)
B	Борная кислота (H_3BO_3)	0,02 (по B)
Mo	Молибденовокислый аммоний ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	0,05 (по Mo)
Cu	Медь сернокислая ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), хлористая ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) или азотнокислая ($\text{CuNO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)	0,01 (по Cu)
Zn	Цинк сернокислый ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), хлористый (ZnCl_2), или азотнокислый ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	0,03 (по Zn)

Данный метод позволяет достаточно точно и просто определить потребность в трудно диагностируемых элементах, поскольку элементы питания, введенные непосредственно в ткани растения, дают эффект быстрее, чем удобрения, внесенные в почву. Однако метод инъекций недостаточно используется в практике.

Тема 12. ДИАГНОСТИКА НЕДОСТАТКА МАКРОЭЛЕНТОВ

Азот

Составляет около 1,5% сухой биомассы растений. Он входит в состав белков, нуклеиновых кислот, липоидных компонентов мембран, фотосинтетических пигментов, витаминов и других жизненно важных соединений. Основными усвояемыми формами азота являются ионы нитрата и аммония.

При избытке азота растениями-индикаторами могут служить огурцы, кабачки; при недостатке – капуста белокочанная и цветная, кукуруза, картофель, черная смородина, яблоня, слива.

Азот усиливает ростовые процессы, входит в состав всех белков, в том числе нуклеотидов (ДНК и РНК) – носителей наследственности, белков-ферментов, осуществляющих каталитические реакции в клетках, хлорофилла, алкалоидов, витаминов. Азотное питание оказывает большое влияние на развитие растений. При нормальной обеспеченности азотом повышается синтез белковых веществ, ускоряется рост и несколько замедляется старение листьев. Растения хорошо растут, улучшается формирование репродуктивных органов. Повышает урожай и количество белка в продукции.

На содержание в почве доступного азота влияют многие факторы: тип почвы, предшествующая культура, сроки и способы обработки почвы, температурный и водный режим, микрофлора.

Растения могут испытывать недостаток азота в следующих случаях:

- при низком уровне рН почвенной среды;
- при внесении в почву большого количества соломы, опилок без добавления азотных удобрений;
- в холодную погоду (особенно рано весной);
- при недостатке влаги;
- при обильном выпадении атмосферных осадков;
- при длительном задернении почвы в садах.

Дефицит азота проявляется преждевременной бледно-зеленой, желто-зеленой окраской листьев, переходящей затем в желтую. Причем, пожелтение начинается с жилок и прилегающих к ним тканей нижних (старых) листьев, позже хлорозом поражаются верхние (молодые) листья. У овощных культур и плодовых деревьев осыпаются цветы и завязи. При остром недостатке азота наблюдается преждевременное опадание листьев, ускоренное созревание, низкая урожайность.

Дефицит азотного питания на различных культурах имеет свои особенности, поскольку одни растения более чувствительны и имеют более четкие признаки недостатка, у других – он менее выражен.

У пшеницы, ржи, ячменя, овса азотное голодание проявляется следующим образом: листья мелкие, бледно-зеленые; пожелтение начинается с верхушек нижних листьев и постепенно распространяется вдоль главной жилки к основанию листа; кушение слабое или совсем отсутствует. Вновь появляю-

щиеся листья короче предыдущих; стебель тонкий, короткий, иногда пурпурно-зеленый; созревание преждевременное; колосья и зерно мелкие; урожаи низкие.

Существенной причиной слабого кущения у зерновых может быть продолжительный засушливый период, который резко снижает интенсивность биохимических процессов в растениях.

У *кукурузы* в ранние фазы на дефицит азота указывают: замедленный рост, малый размер листьев и их желтовато-зеленая окраска, чахлый вид растений.

Нижние листья вместе с главными жилками желтеют постепенно, начиная от верхушки. Желтизна имеет вид клина. Края листьев долго остаются бледно-зелеными. Когда азотное голодание усиливается и осложняется засухой, листья желтеют полностью и через несколько дней после пожелтения буреют, засыхают и отмирают.

У *зернобобовых культур* (горох, соя, фасоль) нижние листья постепенно становятся светло-зелеными, затем желтеют; вскоре изменяют окраску и верхние листья, приостанавливается рост растений. Усиление голодания приводит к опадению листьев.

У *картофеля* отмечается слабый рост стеблей и листьев. Растения приобретают светло-зеленую или даже желтовато-зеленую окраску. Листья нижнего яруса в более поздние фазы роста становятся бледно-желтыми, а затем опадают. Жилки листьев становятся темно-фиолетовыми. Признаки азотного голодания наиболее отчетливо проявляются в фазы максимального потребления элемента – бутонизации и цветения. Урожайность клубней снижается из-за преждевременного отмирания ботвы.

У *озимого рапса* растения приобретают светло-зеленую окраску, слабо ветвятся. Старые, нижние листья желтеют, засыхают и сбрасываются.

У *гречихи* растения вытягиваются, листья становятся желтовато-зелеными, затем желтыми, стебли – пурпурно-зеленоватыми.

У *сахарной свеклы* образуются мелкие, удлинённые, вертикально расположенные листья бледно-зеленой или желтовато-зеленой окраски. Хлороз начинается с жилок нижних листьев и постепенно распространяется на все листья, при остром голодании они желтеют и отмирают. Растения сильно отстают в росте.

У *столовой свеклы* ботва растет вертикально, старые листья становятся темно-красными, молодая листва бледно-зеленого цвета.

У *томатов* замедляется рост, листья мельчают, приобретают светло-зеленую или бледно-желтую окраску. Жилки, особенно на нижней стороне листа, постепенно из желтовато-зеленых становятся темно-красными или голубовато-красными. Стебли жесткие, волокнистые. Рост корней прекращается, они буреют и отмирают. Цветочные почки также желтеют и отмирают. Образующиеся плоды мелкие и деревянистые, светло-зеленые, после созревания ярко-красные.

У *огурцов* нижние листья становятся светло-зеленого и желтого цвета, замедляется рост новых листьев. Отмечаются жесткость и волокнистость стеблей, остановка роста, побурение и отмирание корней, светлая окраска и заострение конца у плодов. Плодов образуется мало, все они мелкие. У тепличных огурцов листья мелкие и в основном направлены вверх. Пластинки более старых листьев равномерно желтеют, затем пожелтение распространяется и на молодые листья. Плетви тонкие и быстро древеснеют. Завязи осыпаются, часть цветков погибает. Мало боковых побегов.

У *капусты* листья окрашиваются в желтовато-зеленый цвет, постепенно переходящий в розовый или пурпурный, отмечается малый размер листьев и головок. Азотное голодание у капусты может наблюдаться как в рассадный период, так и после высадки в грунт, вплоть до созревания, но чаще в холодную дождливую погоду, и особенно у ранних сортов.

У *лука* отмечается замедленный рост. Листья узкие, короткие, светло-зеленые. Сначала верхушки листьев, а позднее и все листья приобретают буровато-желтую окраску. Вид растений угнетенный.

У *редиса* рост надземных и подземных органов замедлен, листья мелкие, узкие, тонкие, постепенно желтеющие, с тонкими и слабыми черешками. Корнеплоды плохо развиты, окрашены в блеклый красноватый цвет вместо обычного ярко-красного или ярко-розового.

У *плодовых и ягодных культур* весной отмечается медленное развитие почек; листья мелкие, отходящие под острым углом к побегу, постепенно теряют зеленую окраску и желтеют. Сначала это проявляется у основания побегов, затем желтеют и более молодые листья. Длительное азотное голодание вызывает пожелтение всех листьев и преждевременный листопад.

У *земляники* наблюдается покраснение краев листьев, ломкость черешков; нижние листья засыхают, усы развиваются слабо.

У *малины* кончики и края листьев желтеют, части листа становятся коричневыми, засыхают, листья опадают.

Предупредить дефицит азотного питания у озимых зерновых, рапса, пропашных и овощных культур можно на основе результатов почвенной диагностики.

Почвенная диагностика на полях озимых зерновых и рапса производится рано весной, в период возобновления весенней вегетации, у яровых зерновых культур – до посева, у овощных – до высадки рассады. С этой целью на поле специальным буром делают три скважины и отбирают образцы почвы через каждые 20 см до глубины 1 метр. В каждом из образцов определяют содержание нитратных и аммиачных форм азота и рассчитывают общий запас минерального азота в килограммах действующего вещества на гектар. По разнице между рекомендуемым количеством азота на запланированный урожай и фактическим его запасом в почве дается рекомендация по дозе подкормки или внесении (табл. 6).

Для определения обеспеченности почвы азотом пользуются следующей градацией, кг/га:

- до 60 – очень низкое;
- 60–90 – низкое;
- 90–120 – среднее;
- 120–150 – повышенное;
- 150–180 – высокое;
- более 180 – очень высокое.

Таблица 6

Планируемая урожайность, ц/га	Запас минерального азота, кг/га		Доза N, кг/га	
	$N_{\text{мин}(1)}$	$N_{\text{мин}(2)}$	1-я подкормка	2-я подкормка
35	90	40	50	-
45	120	60	60	-
50	140	70	70	-
55	160	80	40	40
55	160	200	Подкормку не проводят	

Примечание: $N_{\text{мин}(1)}$ – содержание минерального азота в слое почвы 0–100 см для получения планируемого урожая; $N_{\text{мин}(2)}$ – фактическое содержание минерального азота в слое почвы 0–100 см.

В дальнейшем своевременно определить скрытый дефицит питания азотом, фосфором и калием (еще до появления его внешних признаков) поможет растительная диагностика. Очень важно выявить недостаток питания в более ранние фазы развития сельскохозяйственных культур, поскольку фундамент урожая – общая фотосинтетическая поверхность листьев – закладывается именно в этот период.

Озимые зерновые. Для предупреждения и ликвидации дефицита азота у озимых зерновых проводится от трех до шести подкормок в фазы наиболее активного потребления элемента.

- Первая – в стадии 3-го листа (конец кушения) вразброс – дозой от 30 до 90 кг д.в./га, в соответствии с результатами почвенной диагностики и потребностью сорта (рекомендациями селекционеров).
- Вторая – в стадии начала выхода в трубку (стадия язычка) – до 30 кг д.в. – по результатам растительной диагностики. Для этого используют аммиачную селитру, карбамид или их растворы. При прохождении этих фаз чаще всего бывает сухо, поэтому поверхностная подкормка может не дать результатов. Хороший эффект в это время дает некорневая подкормка карбамидом – 20–30 кг д.в. или аммиачной селитрой – не более 20 кг д.в./га, во избежание ожогов. Этот способ обеспечивает поступление в зерно 50% азота из внесенных удобрений, в то время как подкормка через почву – лишь 15%. В раствор азотных удобрений хо-

рошо добавить 200 г сернокислой меди или марганца, которые стимулируют закладку и развитие генеративных органов.

- Третья подкормка проводится в фазы полного колошения – начала цветения, взброс – дозой азота от 20 до 70 кг д.в. или, что более эффективно, некорневым способом в дозе 20 кг д.в./га совместно с сернокислым кобальтом 100–150 г на 1 га. Для некорневой подкормки лучше использовать карбамид, но можно и аммиачную селитру или различные сочетания данных удобрений.

На приготовление 30%-ного раствора карбамида требуется 65 кг удобрения и 150 л воды. Расход рабочего раствора – 200 л на 1 га (или азота – 30 кг д.в./га). Его применяют при однократной некорневой подкормке. Вместо карбамида можно использовать его смесь (45 кг физического веса) с аммиачной селитрой – 22 кг, которые необходимо растворить в 133 л воды. Расход раствора – 200 л на 1 га (28 кг д.в. азота на 1 га).

При расчете на высокий урожай можно сделать две подкормки: в стадию начала выхода в трубку и в конце или начале колошения и в стадию язычка, по флаговому листу.

С этой целью необходимо приготовить раствор из расчета 43 кг физического веса карбамида и 157 л воды (21,5%-ный раствор). Норма расхода рабочего раствора – 200 л на 1 га (20 кг д.в. на 1 га).

Эффективна также смесь, состоящая из 22 кг физического веса карбамида и 28 кг аммиачной селитры на 150 л воды (25%-ный раствор). Норма расхода – 200 л/га (или 20 кг д.в./га).

В растворы азотных удобрений можно добавить микроэлементы: сернокислые цинк (фаза начала выхода в трубку), медь и марганец.

Яровые зерновые культуры. Яровые ячмень, овес, пшеница отличаются от озимых зерновых более коротким периодом поглощения элементов питания.

Для получения высоких урожаев их необходимо обеспечить элементами питания на самых ранних этапах роста и развития. Поэтому всю дозу азота дают под культивацию (за исключением 10–15 кг д.в. азота на 1 га в рядок в составе комплексных удобрений). Если азот в основное внесение не использовался, то в фазу начала кущения рекомендуется подкормка – 60–70 кг д.в. на 1 га и более взброс (в зависимости от планируемой урожайности и содержания азота в почве).

Доза подкормки ярового ячменя, выращиваемого на пивоваренные цели, не должна превышать 60 кг д.в./га.

Яровая пшеница испытывает наибольшую потребность в азоте через 7–10 дней после всходов и до кущения: резко возрастает потребность в этом элементе в фазы выхода в трубку – колошения. Отмечается высокий эффект от дробного, разделенного на 2–3 приема, внесения азотных удобрений – 120–160 кг д.в. на 1 га.

Подкормка, проведенная в фазу начала кущения вразброс дозой 30–45 кг д.в./га, повышает урожай на 15–20%.

Внесение азотных удобрений в фазу выхода в трубку – колошения улучшает качество зерна. Дозу подкормки необходимо корректировать на основе данных растительной диагностики.

Озимый рапс. Азотные удобрения под озимый рапс лучше вносить дробно как с экологической, так и с экономической точки зрения. Высокие разовые дозы азота без сбалансированного фосфорно-калийного питания могут вызвать полегание рапса, рост и цветение новых побегов, что ослабляет растения и негативно отражается на урожае и его качестве, снижает масличность семян. Кроме того, возрастает риск повреждения грибными болезнями и возникновения дефицита серы. Оба элемента – азот и сера – входят в состав белков в строго определенном соотношении. Так, при $N : S = 15$ и выше в растениях отмечается недостаток серы, снижение фотосинтеза до 40%, распад белков и накопление азота в виде небелковых соединений и нитратов.

Первую подкормку азотными удобрениями лучше проводить на основе данных почвенной диагностики в период возобновления весенней вегетации (точка роста у рапса пробуждается при температуре $+2^{\circ}\text{C}$). Ориентировочная доза – от 30 до 80 кг д.в./га, в зависимости от содержания азота в почве. Вторую – через 2–3 недели после первой, дозой 30–60 кг д.в./га.

Рапс хорошо отзывается на некорневые подкормки азотом, его листья менее чувствительны к дозе азотных удобрений, вносимых этим способом, чем у озимой пшеницы. Им установлено, что до раскрытия первых цветком можно проводить некорневую подкормку дозой 40–80 кг д.в./га совместно с инсектицидами.

Кукуруза. Азот интенсивно используется растениями кукурузы в начале вегетации и максимально – в фазы выметывания и цветения. Согласно данным Н.А. Поспелова (1985), недостаток азота в первые две недели после появления всходов отрицательно сказывается на развитии репродуктивных органов – не образуются початки. Поэтому наряду с основным (50–70% от общей дозы азота на планируемый урожай) и стартовым удобрением (10 кг д.в./га в составе комплексных удобрений) необходимы 1–2 подкормки. Первая – в фазу 3–4 листьев, 25–15% от общей дозы азота (ориентировочно 35 кг д.в./га) в разброс, под первую междурядную обработку. Корневая система растений кукурузы в этот период еще слаборазвита, а потребность в элементах питания – большая. Подкормка азотными удобрениями увеличивает поступление питательных веществ. Вторую подкормку проводят при необходимости до выметывания метелки, по результатам тканевой экспресс-диагностики.

Картофель. Рациональное применение минеральных удобрений под картофель направлено на формирование развитой листовой поверхности к фазе цветения, что создает возможность максимального накопления пластических веществ и передвижения их в клубни. В этот период растениями кар-

тофеля усваивается 75% N, 70% K₂O и MgO, 100% CaO и 50% P₂O₅ от общего количества их в урожае. Для получения высоких урожаев картофеля и оптимизации минерального питания необходим постоянный контроль роста и развития растений в период вегетации.

С этой целью используются данные тканевой и листовой диагностики, биометрико-фенологических измерений. Большая часть азота вносится до посадки картофеля. Решать вопрос о целесообразности первой подкормки азотом следует на основе данных тканевой экспресс-диагностики, которая подскажет, достаточно ли данного элемента растениям. Наиболее приемлемый срок отбора – через 5–6 дней после наступления фазы полных всходов. Отбирается 2-й или 3-й лист сверху главного стебля от 25 кустов. Для более полной оценки условий минерального питания необходимо учитывать также массу надземной части среднего куста (из 25 растений). Через 10–12 дней после появления полных всходов она должна составлять для сортов средней продуктивности 175–250 г, для высокопродуктивных – 250–300 г. При обнаружении дефицита азотного питания можно провести раннюю подкормку вразброс удобрениями в количестве 25–30% от общей оптимальной дозы для данного сорта (\approx 30 кг д.в./га). Более поздние подкормки азотными удобрениями (в фазу бутонизации и цветения) снижают крахмалистость клубней и лежкость при хранении.

Высокая эффективность некорневой подкормки картофеля получена при использовании раствора следующего состава: 2 кг аммиачной селитры + 2 кг сернокислого калия + 20 кг порошковидного суперфосфата + 200 г сернокислой меди (или сернокислых солей цинка, или марганца) на 400 л воды.

Капуста (ранние, средне- и позднеспелые сорта). В течение месяца после высадки рассады капуста растет медленно и усваивает лишь 10% N, 7% P₂O₅ и 7,5% K₂O от всей потребности в элементах питания. Максимум потребления питательных веществ приходится на период после завязывания кочанов: N – 80%, P₂O₅ – 86%, K₂O – 84%.

На почвах легкого гранулометрического состава при низком и среднем содержании элементов питания в почве рекомендуется две азотно-калийные подкормки под раннюю и цветную капусту. Первая – через 8–12 дней после посадки и приживания рассады, ориентировочно N₁₅K₁₅, вторая – через 2–4 недели после первой, в зависимости от состояния растений – N₃₀K₃₀. В те же сроки средние и поздние сорта капусты подкармливают в дозах соответственно N₂₀K₂₀ и N₃₀K₃₀.

При планировании высоких урожаев средне- и позднеспелых сортов капусты на среднесуглинистых и глинистых почвах рекомендуется подкормка. Ее проводят через три недели после высадки рассады - некорневая подкормка следующего состава: 6 кг мочевины + 3 кг сернокислого калия + 4 кг сульфата магния + 50 г молибдата аммония + 50 г сернокислого цинка + 50 г медного купороса + 50 г сернокислого железа на 400 л воды в расчете на 1 га.

Фосфор

Его содержание колеблется от 0,2 до 1,2% сухой биомассы растений. Используется и функционирует в растении только в окислительной форме – в виде остатков фосфорной кислоты. Весь фосфорный обмен сводится лишь к присоединению или переносчику фосфорной кислоты: фосфорилирование и трансформирование.

О недостатке фосфора сигнализируют растения томат, яблоня, крыжовник, брюква, турнепс.

Соединения фосфора, безусловно, необходимы всем живым организмам. Фосфорную кислоту содержат в своем составе нуклеотиды – важнейшее вещество клеточных ядер. Как и белковые вещества, нуклеиновые кислоты – высокополимерные соединения, структура их сложна. Содержание фосфора в нуклеиновых кислотах – около 20% (в пересчете на P_2O_5), а содержание самих нуклеиновых кислот в листьях и стеблях растений – 0,1–1% сухой массы. Особенно много нуклеиновых кислот в зародышах семян, пыльце, кончиках корней.

Фосфор содержится также в других соединениях растений, таких, как фитин, лецитин, сахарофосфаты и др. Фитин служит запасным веществом в семенах, фосфорная кислота, входящая в его состав, используется при их прорастании. Лецитин – жироподобное вещество, находящееся в цитоплазме всех клеток растения, но накапливающееся, преимущественно, в семенах. Сахарофосфаты встречаются во всех тканях растений и играют существенную роль при дыхании, биосинтезе сахарозы и крахмала.

Таким образом, фосфор является частью многих органических соединений в растениях. Однако одним этим роль фосфора не исчерпывается. Для осуществления синтетических процессов (синтез белка, жиров, крахмала, сахарозы) необходима затрата значительного количества энергии, которая доставляется так называемыми макроэргическими соединениями. В состав большинства из них входит фосфор, и макроэргические связи образуются с участием фосфорной кислоты.

Минеральные соли фосфорной кислоты не накапливаются в значительных количествах – ни в вегетативных органах, ни тем более в семенах, если фосфорное питание растений протекает нормально. Однако избыток легкодоступного фосфора или запоздалое внесение фосфорных удобрений, а также недостаток азота и других минеральных веществ могут привести к увеличению содержания минеральных фосфатов в растении, не использованных в процессах фотосинтеза органических фосфорсодержащих соединений.

В растениях резко преобладают органические соединения фосфора, а среди них – фитин. Довольно значительная доля фосфора находится в хлоропластах, в которых происходит фотосинтез.

Оптимальное обеспечение сельскохозяйственных культур фосфором усиливает энергию прорастания семян, способствует росту и развитию корней, образованию генеративных органов и цветочных почек, ускоряет разви-

тие и созревание плодов и семян, повышает их лежкость, увеличивает накопление в них сахаров, крахмала, красящих и ароматических веществ, способствует повышению зимостойкости растений.

Дефицит фосфора снижает энергетический обмен клетки, нарушает скорость и направленность биохимических реакций, уменьшает прирост биомассы. При этом тормозится клеточное деление, снижается синтез белка, крахмала, целлюлозы, сахаров, увеличивается количество небелковых соединений азота и содержание пигмента антоциана, придающего красновато-фиолетовую окраску листьям. Дефицит фосфора возможен в следующих случаях:

- на почвах с высокой кислотностью или щелочностью (карбонатностью);
- при низком содержании органического вещества в почве;
- при избытке ионов калия, цинка, алюминия, железа, марганца, хлора и нитратов;
- на почвах тяжелого гранулометрического состава;
- при низких температурах почвы и воздуха;
- при засухе;
- при недостатке кислорода (избыточное увлажнение);
- при внесении высоких доз азотных и калийных удобрений на фоне низкого содержания P_2O_5 в почве.

Недостаток фосфора характеризуется появлением темно-зеленой, голубоватой окраски листьев, переходящей затем в красноватую – до пурпурной, образованием пятен – фиолетово-красных, красноватых, бурых, с последующим отмиранием тканей в этих местах. Дефицит начинается на нижних, старых листьях, затем переходит вверх, на молодые листья.

Молодые листья мельчают, рост растений резко ограничивается, падает урожайность, особенно у зерновых и бобовых культур.

Дефицит фосфора у сельскохозяйственных культур проявляется следующим образом:

У пшеницы, ржи, ячменя признаки фосфорного голодания возникают чаще в фазе кущения. Растения слабо кустятся или не кустятся вообще, медленно растут; кончики листьев – лиловые или красно-фиолетовые, остальная часть листа – темно-зеленая, иногда со слабым пурпурным или голубоватым оттенком. Сначала отмирают верхушки более старых листьев, постепенно отмирание тканей достигает их оснований. Созревание зерна задерживается.

У гречихи отмечается замедленный рост, листья темно-зеленой окраски со слабо-пурпурным оттенком. При остром дефиците фосфора верхушки нижних листьев отмирают.

У кукурузы рост молодых растений замедляется. Нижние листья становятся темно-зеленого цвета, по краям появляется фиолетовый оттенок, который постепенно распространяется как на нижнюю, так и на верхнюю поверхность листьев. Верхние листья могут приобретать светло-зеленую окраску. В

результате запаздывания выхода рылец пестиков образуются недоразвитые, чаще уродливой формы початки, с рядами неоплодотворенных зачатков зерен. Фосфорное голодание усиливается в холодную, дождливую погоду.

У *сахарной и кормовой свеклы* листья приобретают тусклую, темно-зеленую с голубоватым оттенком окраску, края нижних листьев становятся темно-коричневыми или черными, иногда завертываются сверху и отмирают. Розетка листьев при этом лежащая. Нижние листья часто складываются вдоль главной жилки вверх. Листья рано опадают. Корни мелкие, содержат мало сахаров.

У *столовой свеклы* листья небольшие, темно-багряного цвета, с короткими черешками.

У *картофеля* недостаток фосфора особенно проявляется в фазы бутонизации и цветения. Боковое ветвление слабое или отсутствует, вследствие чего кусты имеют сжатую форму. Листья темно-зеленые, отходят от стебля под острым углом. На кончиках нижних листьев возникает узкая полоска темно-коричневого или черного цвета; отмершая ткань завертывается вверх в виде узкой трубочки. Листья до самой уборки имеют темно-зеленую окраску; небольшая часть нижних листьев опадает.

В мякоти клубней появляются ржаво-бурые пятна, которые при варке картофеля остаются твердыми и выделяются среди мягкой сварившейся массы клубня.

У *бобовых культур* рост замедляется, растения вытягиваются; листья имеют темно- или сине-зеленую окраску. У некоторых бобовых листовые пластинки закручиваются вверх, и листья кажутся заостренными; позднее стебли могут покраснеть. Ветвление и плодоношение задерживается.

У *озимого рапса* отмечается низкий рост растений, темно-зеленая окраска листьев. Позже края и кончики старых листьев становятся розовато-пурпурными, а при усилении дефицита фосфор – ярко-красными.

У *огурцов* молодые листья темно-зеленые, старые – серо-зеленые. В дальнейшем на пластинке листа появляются большие неравномерно распределенные желтовато-коричневые пятна. Они становятся некротическими и засыхают. Лист морщинистый, края острые и загибаются вверх.

У *томатов* семядоли всходов направлены вверх под острым углом, на нижней поверхности синевато-зеленых с фиолетовым оттенком листьев появляется багровая окраска; жилки становятся фиолетово-красными. Стебли тонкие, жесткие; плоды созревают поздно. Корни покрываются ржавым налетом. У взрослых растений томата при недостатке фосфора доли листа завертываются внутрь.

У *капусты* отмечаются карликовый рост, малый размер и тусклая темно-зеленая с фиолетовым оттенком окраска листьев, которая проявляется вначале на жилках и вдоль них, а затем распространяется, начиная с верхушки, на всю поверхность листьев.

У моркови черешки листьев направлены вверх, старые листья отмирают, небольшие листья имеют тускло-зеленую окраску с фиолетовым оттенком.

У лука репчатого задерживается рост, кончики старых листьев увядают, чернеют и отмирают, появляется крапчатость – чередуются участки с зеленой, желтой и бурой окраской.

У редиса краснеет нижняя поверхность листьев.

У плодовых и ягодных культур стебли и отдельные листья становятся сизо-розовыми, бронзовыми или ржаво-зелеными; возможна крапчатость; на черешках появляется багровая окраска. Ветвление слабое, побеги короткие и тонкие. Листья преждевременно опадают. Дефицит проявляется, прежде всего, на листьях побегов текущего года, особенно в прохладное лето.

Система применения фосфорных удобрений под сельскохозяйственные культуры складывается из основного внесения и внесения в рядки и лунки при посеве. Фосфор необходим с самых ранних стадий развития и на протяжении всего периода вегетации растений для формирования мощной корневой системы, увеличения семенной продуктивности, ускорения созревания семян. В молодом возрасте растения очень чувствительны к недостатку фосфора и могут испытывать фосфорное голодание даже при наличии достаточного количества элемента в почве, так как корневая система их развита слабо. Поэтому рядковое внесение фосфорсодержащих комплексных удобрений является необходимым энергосберегающим приемом (P_2O_5 10 кг д.в./га – под зерновые, 15–20 – под картофель, овощи).

На озимой пшенице, если осенью фосфорные удобрения не применялись, эффективной является ранневесенняя прикорневая подкормка комплексными удобрениями – 15–30 кг д.в./га, особенно при низком запасе влаги в почве.

В более поздние сроки дефицит фосфора невосполним, так как начинаются необратимые нарушения обмена веществ.

Калий

Его содержание колеблется от 0,7 до 1,4% сухой биомассы растений. Калий оказывает влияние, прежде всего на усиление гидратации коллоидов цитоплазмы, повышая степень их дисперсности, что помогает растению лучше удерживать воду и переносить временные засухи. Калий участвует в синтезе крахмала, жиров, усиливает синтез высокомолекулярных углеводов (целлюлозы, гемицеллюлозы, а также пектиновых веществ, ксиланов и др.), регулирует мембранный потенциал клеток, активизирует около 40 ферментов. Только при наличии определенного количества ионов калия в клетке могут нормально осуществляться такие процессы, как биосинтез белка, фотосинтез, дыхание, синтез полимерных соединений. При нормальном калийном питании растения легче переносят засуху. Оптимальное обеспечение сельскохозяйственных культур калием увеличивает содержание сахара в плодах и

овошах, крахмала в клубнях картофеля, прочность волокна у технических культур, повышает осмотическое давление в клетках, что способствует зимостойкости растений. Растения, накапливающие в запасующих органах углеводы, требуют значительного количества калия.

Присутствие в большом количестве ионов калия характерно для молодых, активно функционирующих листьев, при дефиците калия возможно перераспределение его из старых листьев в молодые. Недостаток калийного питания приводит к нарушению метаболизма в растении. Ослабевают деятельность ряда ферментов, нарушается углеводный и белковый обмен, увеличивается расход сахаров на дыхание. Вследствие этого снижается всхожесть и жизнеспособность семян, растения быстрее заражаются различными заболеваниями, снижается сохраняемость урожая.

Недостаток калия растения могут испытывать:

- при низкой обеспеченности им почвы (на песчаных, супесчаных, торфяных, пойменных, перегнойных почвах);
- на карбонатных и известкованных почвах (при высоком содержании кальция и магния). В этом случае доза калийных удобрений должна быть повышена на 20% к оптимальной;
- на глинистых почвах с высоким содержанием трехслойных минералов (монтмориллонит и др.), где происходит необменная фиксация калия и переход его в недоступную форму;
- при жаркой и сухой погоде.

Недостаток калия проявляется, прежде всего, пожелтением кончиков и краев нижних (старых) листьев – симптом «краевого ожога». Листья вянут, поникают, становятся морщинистыми. Возможно появление бурых сухих пятен между жилками, что связано с задержкой синтеза белка и накоплением путресцина – вещества из группы витаминов.

В отличие от дефицита магния, где хлороз и некроз тканей наблюдаются в середине листа, между жилками (междужилковый хлороз), калийная недостаточность начинается с краев листа и далее распространяется между жилками.

Дефицит калия проявляется следующим образом:

У зерновых (пшеницы, ржи, ячменя) наблюдается пожелтение, побурение и последующее отмирание верхушек и краев старых листьев, ослабление и полегание стеблей растений, поникание колосьев.

У кукурузы происходит замедление роста. Листья становятся желтовато-зелеными, желтыми, с обожженными верхушками и краями. Дефицит калия на кукурузе похож на дефицит азота, но между ними имеются различия: при недостатке азота стебли вытянутые, желтовато-зеленая окраска листьев переходит затем в желтовато-оранжевую, старые листья засыхают, растения низкорослые, листья непропорционально длинные, с «краевым ожогом». Отмечается полегание растений. Початки недоразвиты, с пустыми и заостренными верхушками, неустойчивы к гнилостным заболеваниям.

У бобовых культур края нижних листьев становятся зеленовато-желтыми или желтыми, затем буреют и отмирают. У фасоли наряду с этим отмечается морщинистость, куполообразная форма листьев и загибание их краев книзу. У гороха на посветлевших краях листьев появляется большое количество коричневых и бурых пятнышек, после чего происходит их отмирание.

У гречихи калийное голодание проявляется характерным краевым ожогом листьев: сначала они желтеют, буреют, затем отмирают. Появляется склонность к полеганию растений.

У картофеля при недостатке калия растения низкорослые, с короткими междоузлиями. Листья становятся темно-зелеными, куполообразными, морщинистыми, с мелкими коричневыми пятнышками между жилками, ближе к краям. Старые листья желтеют, начиная от верхушки и краев, затем буреют и приобретают бронзовую окраску. Ботва отмирает раньше обычного.

При дефиците калия возрастает вероятность заболевания черной пятнистостью мякоти клубня, изменения окраски сырой мякоти клубня и потемнения ее при варке.

У озимого рапса старые нижние листья сморщиваются, желтеют на кончиках и краях. Постепенно желтизна распространяется к середине листа, отмечается отмирание его тканей. Головки цветов вянут. При сильном недостатке калия возможна гибель растения.

У свеклы поверхность листьев морщинистая, края загнуты вниз, на черешках старых листьев бурые пятна, корневая система плохо развита и подвержена гниению.

У капусты листья приобретают темно-зеленую окраску с голубоватым оттенком, по их краям – бронзовость, может быть слабый междужилковый хлороз. На краях нижних листьев появляется «ожог», а на внутренней поверхности – бурые пятна. Отмечается плохой рост кочанов.

У огурца края листьев начинают желтеть, становятся куполообразными, бронзовыми, затем отмирают. Форма плодов – грушевидная.

У репчатого лука верхушки более старых нижних листьев приобретают серовато-желтую окраску, которая затем распространяется на весь лист. Листья при этом вянут, луковица слабая.

У моркови и томата наблюдается курчавость молодых, морщинистость и краевой ожог старых листьев. У тепличных томатов значительно задерживается окрашивание плодов, они пестрой окраски. Внутри плода видны коричнево-черные полосы.

У плодовых и ягодных культур по краю листьев среднего яруса у молодых побегов появляются голубовато-зеленые, желтоватые, иногда багровые полосы, с последующим отмиранием и образованием «краевого ожога». У черешни, вишни, персика и сливы, помимо этого, отмечается хлороз тканей между жилками, крапчатость, иногда скручивание листьев.

У винограда на листьях, расположенных вблизи грозди, окраска изменяется от темно-зеленой до фиолетовой и становится нехарактерной для остальных листьев

Калий, как и фосфор, необходим растениям в течение всей жизни – от момента прорастания до образования семян. Вместе с фосфором он обеспечивает развитие мощной корневой системы, накопление сахаров у озимых зерновых, рапса, плодовых культур, что повышает их устойчивость к заморозкам и позволяет благополучно перенести неблагоприятный зимне-ранневесенний период.

Благодаря калию растения экономнее расходуют влагу и противостоят засухе. Он ускоряет отток углеводов из листьев и стеблей в органы плодоношения, способствует повышению качества зерна и плодовоовощной продукции, обеспечивает сохранение ее товарного вида и продолжительность сроков хранения картофеля, капусты, корнеплодов. Поэтому в системе применения удобрений требуется полная, основная заправка почвы калием. Небольшое количество – 10–20 кг д.в./га – вносится в составе комплексных удобрений при посеве в рядки и лунки. На овощных культурах подкормки калийными удобрениями проводятся при низком и среднем уровне обеспеченности калием, один-два раза за вегетацию совместно с азотными в количестве 15–20% от общей доли калия.

Кальций

В сухой биомассе растений содержится 0,2% кальция. Кальций необходим для нормального роста надземной массы и корней от фазы прорастания и на протяжении всего периода вегетации растений.

Он обеспечивает физиологическую уравновешенность почвенного раствора и препятствует поглощению избыточного количества катионов водорода, алюминия, марганца, тяжелых элементов, что снижает отрицательное действие их на растения. Наряду с этим за счет антагонизма уменьшается поступления калия и большинства микроэлементов (кроме молибдена), что вызывает необходимость повышения доз калийных удобрений и обязательного применения микроудобрений на производственных полях.

Роль кальция для растений многогранна: вместе с калием он поддерживает водный баланс клетки – уменьшает оводненность протоплазмы, стимулирует образование пектиновых веществ, входящих в состав клеточных стенок, обеспечивает мембранный потенциал и поступление катионов в клетку; участвует в упорядочении клеточного деления, растяжении меристемы побега и корня, в транспорте нитритов, передвижении углеводов; совместно с магнием и марганцем активизирует около 20 ферментных систем.

Больше всего кальция потребляют капуста, люцерна и клевер.

Недостаток кальция проявляется:

- на сильнокислых песчаных и супесчаных почвах;

- при высокой концентрации в почве других катионов: калия, аммония, натрия, магния, алюминия;
- при засухе.

Недостаток калия тормозит рост молодых, меристематических тканей и проявляется, прежде всего, появлением хлоротичных пятен на верхушечных листьях, отмиранием точек роста на центральных и боковых побегах, а также кончиков корней. На сохранившихся корнях образуются мелкие шарообразные вздутия, корневые волоски отсутствуют. В результате нарушается поступление воды и питательных веществ в растения. Кроме того, пектиновые вещества растворяются, наружные клетки корня разрушаются, корни при этом становятся короткими, ослизняются, загнивают и отмирают. Рост стебля прекращается.

В период засухи одним из симптомов дефицита кальция является «надламывание побегов» у внешне нормально развитых растений, что связано со снижением транспирации.

Наиболее ярко выражены признаки дефицита кальция у следующих культур:

У кукурузы молодые нераскрывшиеся листья слипаются вместе, стебель слабый.

У овощных замедляется рост, на молодых верхушечных листьях появляются светло-желтые пятна, старые листья остаются зелеными. При усилении недостатка кальция отмирает верхушечная почка. Стебли деревянистые. Кончики корней отмирают, на сохранившихся образуются шарообразные вздутия.

У редиса наблюдаются узкие белые полосы по краям листьев.

У огурца молодые листья мелкие, междоузлия короткие, молодые листья приобретают светлую окраску с краев. Одновременно на пластинке листа между жилками возникают узкие светлые полосы, которые быстро расширяются, теряют зеленый цвет, начинается некроз. Края листьев загибаются кверху. У длинноплодных тепличных сортов заметна морщинистость верхушки плода.

У томатов образуется непаразитарная вершинная гниль плодов, особенно при выращивании в теплицах с высокой влажностью. Края молодых листьев желто-зеленые. Листья мелкие, деформированные, с точечными некрозными пятнами, которые затем сливаются. Края листьев загибаются вниз, у старых листьев отмечается «краевой ожог».

У картофеля вдоль краев молодых верхушечных листьев появляется светло-зеленая полоса, ткани которой часто отмирают. В некоторых случаях верхушечные листья не распускаются, а верхушечная почка отмирает. Края листа закручиваются книзу. В мякоти клубней появляются участки отмершей ткани бурого цвета.

У плодовых и ягодных культур происходит отмирание тканей и деформация кончиков и краев молодых листьев: кончики загибаются книзу, а края

закручиваются кверху. Возможно появление хлоротичных краевых полос, отмирание точек роста и верхушек побегов. Пораженные листья опадают. Кончики корней становятся ненормально толстыми, похожими на обрубки.

При снижении поступления кальция у плодовых культур подвядают цветы. Применение высоких доз аммиачных форм азотных удобрений и калия усугубляет ситуацию и приводит к их отмиранию.

Недостатком кальция в результате несбалансированного питания объясняется также поражение плодов яблонь заболеваниями – горькой ямчатостью и бурой пятнистостью, у вишни наблюдается растрескивание и размягчение плодов.

Снижению дефицита кальция у сельскохозяйственных культур на ранних стадиях развития способствует внесение кальциевой селитры (N – 15,5%, CaO – 25,5%) – 100 кг физического веса на 1 га взброс. Кальциевая селитра – единственное из азотных удобрений, которое улучшает структуру почвы и обеспечивает усвоение дополнительного атмосферного азота свободноживущими бактериями – азотфиксаторами. Положительным моментом является и то, что нитратная форма, в которой находится азот в этом удобрении, усиливает усвоение кальция растениями.

Для борьбы с вершинной гнилью томатов проводят еженедельные некорневые подкормки 1–2%-ным раствором кальциевой селитры или хлористого кальция либо следующая схема подкормок кальциевой селитрой: рано весной, до распускания почек – 200 г удобрения на одно дерево для улучшения развития побегов и листьев; в период от опадения завязей до съема плодов – две-три некорневые подкормки 0,8–2,0%-ным раствором удобрения.

Для профилактики дефицита кальция рекомендуется подкормка кальциевой селитрой как дополнительное питание в системе удобрения под следующие культуры:

- *кукуруза* – 30–50 кг/га физического веса прикорневым способом в фазу 3–5 листьев;
- *сахарная свекла* – 50–100 кг/га физического веса прикорневым или поверхностным способом в фазу 3–5 листьев;
- *зернобобовые культуры* – 20–30 кг/га физического веса перед или вместе с посевом;
- *тыквенные культуры* (огурцы, кабачки, патиссоны, тыква) – 100 кг/га физического веса поверхностно в фазу 2–3 настоящих листьев;
- *картофель* – 200 кг/га физического веса перед окучиванием.

Наиболее эффективным методом устранения дефицита кальция в почве является известкование. На сильнокислых и среднекислых почвах трудно ожидать хорошей отдачи от удобрений и оптимального развития растений. Поэтому главное условие эффективного, успешного земледелия – устранение избыточной кислотности, проведение известкования почв, которое коренным образом изменяет кислотно-основные условия, усиливает протекающие в почве микробиологические процессы.

Магний

В составе биомассы растений содержится около 0,2% магния. Много магния в молодых, растущих частях растения, в генеративных органах и запасающих тканях. Магний является активатором ряда ферментных систем – РДФ-карбоксилазы, фосфокиназы, АТФ, ферментов цикла Кребса, спиртового и молочнокислого брожения, активизирует транспорт электронов при фосфорилировании, около 10–12% магния входит в состав хлорофилла.

Недостаток магния приводит к нарушению фосфорного, белкового и углеводородного обменов. При магниевом голодании разрушается формирование пластид: грани слипаются, разрываются ламеллы стромы, просветляется матрикс хлоропластов, вследствие чего развивается хлороз и некроз листьев.

От недостатка магния в первую очередь страдают капустные, картофель, яблоня, крыжовник, черная смородина, виноград.

Дефицит магния вызывает у проса оранжевую окраску листьев, у черной смородины и хлопчатника – пурпурно-красную.

Недостаток магния у злаков вызывает появление между жилками листа в виде вытянутых светлых пятен, которые затем сливаются в светлые полосы. Сами жилки остаются интенсивно-зелеными. У бобовых растений листья заворачиваются внутрь. Поскольку отток магния в молодые части растения происходит по жилкам, то они дольше остаются ярко-зелеными. Недостаток этого элемента проявляется на кислых почвах.

Магний входит в состав хлорофилла (15–20% от общего количества магния в растении). Наряду с этим магний осуществляет и другие функции: вместе с калием и кальцием оказывает влияние на вязкость протоплазмы и содержание воды; участвует в построении пектиновых веществ клеточных стенок; обеспечивает протекание около 300 ферментативных реакций; входит в состав рибосом и активизирует все процессы, в которых происходит передача химической энергии и ее накопление (фотосинтез, дыхание, фосфорилирование, азотный обмен и др.), а также в состав фитина, используемого растением как источник фосфорной кислоты и энергии при прорастании семян. Недостаток магния тормозит процесс восстановления нитратов и производство фитогормонов.

Недостаток магния отмечается:

- на торфянистых и кислых почвах легкого гранулометрического состава. Дефицит магния на легких почвах усиливается при $pH > 5$ из-за повышенной подвижности кальция и при $pH < 5$ из-за увеличения количества ионов водорода, которые тормозят поступление катионов магния в растения;
- на известкованных почвах в результате конкуренции с катионами Ca^{2+} ;

- при достаточном содержании магния и избытке катионов K^+ , H^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mn^{2+} , Na^+ , Al^{3+} . Так, при соотношении в почвенном растворе $Ca^{2+} : Mn^{2+} > 7-10$ растения могут страдать от недостатка магния;
- на пастбищах при внесении высоких доз азотных удобрений.

При дефиците магния у двудольных растений на нижних листьях отмечается междужилковый хлороз: бледно-зеленые или белесые пятна, у злаков – полосы, которые затем буреют и отмирают. Жилки листа, по которым происходит отток магния, дольше остальной части остаются зелеными. У некоторых растений листья приобретают ярко-оранжевую, красную или фиолетовую окраску. Плодоношение ослаблено. Уменьшается накопление крахмала, сахаров, жира и белка в плодах и семенах.

Отдельные культуры реагируют на недостаток магния следующим образом:

У пшеницы, ячменя в верхней части старых листьев появляются светлые пятна, а у их основания – темно-зеленые (скопление хлорофилла), позже исчезающие. Посредине листа заметна темно-зеленая полоса.

У озимой ржи осенью, в период кущения, кончики 2–3 нижних листьев становятся темно-красными, затем окрашивается весь лист. Верхние листья бледно-зеленые, с резко выраженной полосчатостью. Листья узкие, свертываются в трубочку.

У кукурузы проявление недостатка магния может начаться в фазу 4–6 листьев. Нижние листья становятся светло-зелеными, с резкой полосчатостью; жилки зеленые, а полосы между ними желтые. Если почва кислая, то листья могут иметь красно-фиолетовую окраску, с последующим появлением продолговатых светло-серых и бледно-коричневых пятен между жилками.

У рапса особенно яркое проявление дефицита магния – междужилковый хлороз.

У картофеля нижние листья приобретают желтовато-зеленый оттенок, между жилками появляются бурые пятна. Отмечается преждевременное засыхание и опадание листьев; кусты снизу оголяются. Кроме того, уменьшается передвижение продуктов ассимиляции в клубни, снижается содержание крахмала.

У капусты белокочанной появляется «мраморность» листьев: светло-зеленое окрашивание листьев между жилками. Жилки зеленые.

У репчатого лука верхушка листа становится почти белой; лист надламывается и засыхает.

У огурца отмечается пожелтение нижних листьев, начиная от края. Листья сочные, но мелкие, с ломкими краями. Жилки и прилегающие к ним ткани листа зеленые. Плоды мелкие. При усилении дефицита магния появляются некротические пятна, и недостаток элемента сказывается на молодых листьях.

У *томата* на старых, нижних листьях между основными жилками возникают желто-зеленые, а затем некротические пятна. Листья засыхают и опадают, плоды мелкие, созревают раньше времени.

У *свеклы* хлороз наблюдается на старых листьях с появлением красноватой окраски между жилками.

У *моркови* листья приобретают желтоватую, красноватую и фиолетовую окраску, старые листья особенно хлоротичны, корнеплод развивается плохо.

У *бобовых* кончики листьев сухие, коричневого цвета и заворачиваются внутрь. Листья преждевременно отмирают.

У *плодовых культур* дефицит магния бывает чаще, чем у однолетних. На нижних листьях отмечается хлороз, между жилками возникают темно-бурые пятна. Жилки зеленые. Нижние листья преждевременно опадают, и лишь на верхушке остается небольшое количество молодых. Плоды созревают медленно и непригодны к хранению.

У *вишни, яблони, черной смородины* недостаток магния проявляется в виде пурпурно-красных пятен посередине листа.

У *груши* пятна на листьях имеют почти черный цвет.

У *крыжовника* из-за недостатка магния возникают красные полосы по краям листа.

Для профилактики дефицита магния на кислых и легких почвах лучшим вариантом является известкование доломитовой мукой ($MgO - 20\%$) и внесение 30 т органики, что эквивалентно 40 кг MgO . Под основную обработку песчаных почв можно вносить калимагнезию ($MgO - 11\%$, $K_2O - 29\%$, $S - 15\%$). Доза применения магния составляет 60–70 кг д.в./га вод свеклу, 50–60 – под картофель, 30–50 – под бобовые, 10–14 – под зерновые культуры и злаковые травы, 25–50 – под озимый рапс, 30–40 – под кукурузу.

При остром дефиците магния можно проводить некорневые подкормки сульфатом магния ($MgO - 16\%$, $S - 15\%$): на картофеле 5%-ным раствором, при необходимости эту обработку можно совместить с опрыскиванием растений против фитофтороза, на плодово-ягодных культурах – 1–2%-ным раствором, три-пять раз за вегетацию с интервалом в две недели. В этом случае необходимо дополнительное внесение магния в почву. Эффективность агроприема на плодово-ягодных культурах повышается в случае одновременного сочетания некорневой подкормки с обработкой пестицидами против болезней и вредителей.

Сера

В растительных тканях ее содержание колеблется от 0,2 до 1,0% сухой биомассы. Сера принимает участие в реакциях обмена веществ, все белки содержат серосодержащие аминокислоты.

Восстановление сульфата происходит преимущественно в листьях и находится в составе органических соединений, в старых листьях – в виде сульфата кальция (CaSO_4).

Многие виды растений в малых количествах содержат летучие соединения серы. Сульфоксиды входят в состав фитонцидов лука и чеснока. Представители семейства Крестоцветные (Капустные) синтезируют серосодержащие горчичные масла.

Недостаточное снабжение растений серой тормозит белковый синтез, снижает фотосинтез и скорость роста растений, особенно надземной части.

Сера – необходимый элемент роста и развития растений, особенно из семейства крестоцветных и бобовых. Этот элемент в определенном соотношении с азотом входит в состав белков. Когда соотношение $\text{N} : \text{S}$ в растениях более 15, они страдают от дефицита серы. Кроме того, сера участвует во многих окислительно-восстановительных реакциях, синтезе ферментов, витаминов и масел (у крестоцветных). Она является важнейшей составной частью незаменимых для организма человека аминокислот – цистеина, цистина, метионина.

Основной источник серы – органические и серосодержащие минеральные удобрения, внесение которых в последнее десятилетие резко уменьшилось. Поэтому возможен дефицит серы в почве, усугубляемый внесением несбалансированно высоких доз азотных удобрений, низкой температурой воздуха, выпадением большого количества атмосферных осадков и активным выносом высокими урожаями сельскохозяйственных культур. Наиболее чувствительны к недостатку серы крестоцветные (рапс, капуста, брюква, турнепс), бобовые (клевер, люцерна, горох, соя), пасленовые (картофель, томаты, табак), подсолнечник. Растения усваивают серу из почвы в виде солей кальция, калия, магния и других.

Для нормального развития растениям разных семейств и видов необходимо различное содержание серы (табл. 7).

При недостатке серы в питании растений фотосинтез снижается на 40%, азот накапливается в небелковой форме или в виде нитратов.

Чаще всего дефицит серы наблюдается через 2–3 недели после появления всходов на молодых листьях и точках роста: верхние листья становятся желто-зелеными, а при остром недостатке хлоротичными. Жилки листа более светлые, чем окружающие ткани. Листья мелкие, стебли жесткие; растения приостанавливают рост и развитие. Иногда признаками недостатка серы возникают в середине или конце вегетации.

Таблица 7

Содержание серы в растениях, испытывающих серное голодание, и в культурах, достаточно обеспеченных серой, мг/кг

Растение	Недостаток	Достаточная обеспеченность
Фасоль (лист и стебель)	1,35	2,83
Бобы (лист и стебель)	0,95	1,55

Томаты (лист и стебель)	2,05	2,17
Кукуруза (стебель)	0,67	1,05
Горчица (солома)	1,47	5,47
Табак	2,34	6,44
Клевер красный	1,31	2,41

Дефицит серы по внешним признакам очень похож на недостаток азота, что может привести к ошибочному диагнозу, завышению дозы азотных удобрений, недобору урожая и снижению его качества. Однако дефицит серы сказывается в первую очередь на верхних (молодых) листьях, а азота – на нижних (старых).

Недостаток серы у различных культур может проявляться по-своему.

У озимого рапса отмечается общее пожелтение (осветление) сначала молодых листьев, а затем и всего растения. Листья крестоцветных, испытывающих серное голодание, выглядят узкими и удлинёнными. Молодые листья мелкие, плохо развиваются, старые – бледные, с пурпурными краями, курчавятся и скручиваются внутрь. На средней жилке листа или с обратной его стороны может появиться розоватая окраска. Рост центрального побега и корня ограничен. Стручков образуется мало, они короче обычных, плохо выполнены. Семена сморщенные и шуплые, а при сильном голодании вообще не образуются.

У томатов недостаток серы проявляется равномерным пожелтением молодых листьев; жилки становятся пурпурными.

У подсолнечника образуются мелкие корзинки, при этом цветение задерживается или вовсе не наступает.

Для профилактики дефицита серы на почвах с низким ее содержанием под наиболее чувствительные культуры требуется внесение серосодержащих удобрений под основную обработку почвы: сульфата калия (S – 17–18%, K₂O – 48%), калимагнезии (S – 13%, K₂O – 29%, MgO – 11%) или простого гранулированного суперфосфата (S – 13%, P₂O₅ – 20%). Доза серы для крестоцветных культур при низком ее содержании в почве (менее 6 мг/кг) составляет 80–100 кг действующего вещества, для бобовых и свеклы – 70–80, зерновых культур, картофеля – 40–60; при среднем содержании (6–12 мг/кг почвы) указанные дозы снижают на 25–30%.

Для первой ранневесенней подкормки озимого рапса можно использовать взброс сульфат аммония (S – 24%, N – 21%) в дозе 200–300 кг физического веса на гектар. Особенно важна такая подкормка в годы с холодными, дождливыми веснами с обилием талых вод и атмосферных осадков. Сульфат-ионы очень подвижны и легко вымываются за пределы корнеобитаемого слоя почвы, что может вызывать дефицит серы у растений.

Через 2–3 недели после первой можно провести вторую подкормку сульфатом аммония в дозе 150–200 кг физического веса на 1 га. Однако следует помнить, что сульфат аммония является физиологически кислым удобрением и при систематическом применении вызывает подкисление почв (на

нейтрализацию 1 ц удобрения требуется 1,3 ц CaCO_3), поэтому для эффективного использования удобрения необходимо известкование почв.

При остром дефиците серы на ранних стадиях развития растений (фаза начала стеблевания) рекомендуется некорневая подкормка сульфатом аммония в дозе 20–30 кг физического веса на 100 л воды. Норма расхода данного раствора 200–300 л/га. До фазы цветения возможно проведение еще одной, дополнительной некорневой подкормки. С этой целью можно использовать сульфат магния (S – 18,6%, MgO – 16%) в дозе от 3 до 10 кг физического веса на 1 га.

Таблица 8

Дозы серных удобрений под различные сельскохозяйственные культуры

Культура	Прибавка урожая, ц/га	Доза серы, кг/га	
		супесчаные, легкосуглинистые почвы	средне- и тяжелосуглинистые, глинистые почвы
Зерновые (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес)	1,7–4,1	30–40	60–70
Зернобобовые (горох, вика, соя)	1,6–2,0	60–70	80–100
Картофель	14–29	60–70	80–100
Сахарная свекла	20–30	60–70	80–100
Кукуруза (зеленая масса)	150–200	30–40	60–70
Клевер (сено)	5–12	60–70	80–100

Прибавка урожая от внесения серных удобрений на дерново-подзолистых почвах, бедных серой, могут быть очень существенными (табл. 8).

Железо

Содержание в растении составляет 0,08%. Его роль связана с окислительно–восстановительными превращениями и участием в транспорте электронов. Железо является составной частью ферментов, катализирующим синтез предшественников хлорофилла. Недостаток железа вызывает глубокий хлороз в развивающихся листьях, которые могут быть совершенно белыми, тормозит два важнейших процесса энергообмена – фотосинтез и дыхание.

Отсутствие необходимого количества железа характеризуется бледно-зеленой или желтой окраской верхушечных листьев плодовых деревьев с четкой сеткой зеленых жилок, но нижние листья остаются без изменений. Отмечается ослабленный рост растений.

Железо входит в состав Fe-протеинов и более 70 различных ферментов, участвующих в образовании хлорофилла (пероксидазы, каталазы, цитохромоксидазы), а также ведающих дыханием и восстановлением нитратов.

При недостатке железа синтез хлорофилла уменьшается, падает интенсивность зеленой окраски растений, задерживается образование ростовых веществ – ауксинов. Значительная часть железа (до 50%) находится в корневой системе растений, остальная – в листьях, стеблях, семенах и плодах.

Дефицит железа бывает очень редко и проявляется:

- на карбонатных почвах из-за избытка катионов кальция;
- на кислых почвах, содержащих избыточное количество марганца, меди или подвижных форм других тяжелых металлов;
- при проведении известкования высокими дозами известковых материалов;
- при низкой или высокой температуре;
- при обилии фосфора и недостатке калия в почве;
- при переувлажнении и плохой аэрации почв;
- при высоком содержании органического вещества.

Недостаток железа характеризуется хлорозом молодых листьев на концах активно растущих побегов. Окраска листьев сначала бледно-зеленая, затем светло-желтая с зеленой сеточкой жилок. Впоследствии окраска листьев бледнеет, вплоть до белой. Рост и развитие приостанавливаются, цветение и плодоношение слабое. В отличие от нехватки азота (пожелтение нижних, старых листьев) при дефиците железа изменяется окраска более молодых, верхних листьев.

От дефицита железа чаще всего страдают плодовые (яблоня, вишня, персик, груша, виноград), иногда – овощные и полевые культуры. Для устранения недостатка железа наиболее эффективны некорневые подкормки 0,15–0,5%-ным раствором хелата железа (Fe (ДТПА); Fe (ЭДТА) – 2–3 раза за вегетацию. Расход раствора на одно дерево – 5–12 л (в зависимости от возраста).

Тема 13. ДИАГНОСТИКА НЕДОСТАТКА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ

Микроэлементы – незаменимые питательные вещества. Недостаток микроэлементов вызывает серьезные физиологические расстройства и приводит к гибели растений в раннем возрасте. Микроэлементы главным образом функционируют в регуляторных системах клетки. Они выступают в качестве активаторов ферментов, в группах ферментов или кофакторов.

Микроэлементы не являются структурными составляющими растительной клетки, однако без сбалансированного поступления их в растение невозможна последовательная сопряженность всех биологических реакций и физиологических функций растительного организма.

Бор

Среднее содержание составляет 0,0001%, или 0,1 мг на 1 кг сухой массы. В боре наиболее нуждаются двудольные растения. Обнаружено значительное содержание в цветках, особенно в рыльце и столбиках. В клетке большей частью сконцентрирован в клеточной стенке. Бор усиливает рост пыльцевых трубок, прорастание пыльцы, увеличивает количество цветков и плодов. Без него нарушается созревание семян. Бор снижает активность некоторых дыхательных ферментов, оказывает влияние на углеводный, белковый и нуклеиновый обмен.

При недостатке бора нарушается формирование репродуктивных органов, происходит гибель меристематических клеток и деградация проводящей системы растений, что приводит к отмиранию конусов нарастания.

Недостаток бора более всего заметен на брюкве, турнепсе, сахарной и кормовой свекле, подсолнечнике, цветной и кормовой капусте, плодово-ягодных культурах, томате, сельдерее, льне, ржи. Характерные признаки борного голодания – хлороз и отмирание верхушечной точки роста в результате чего растения приобретают кустовидную форму. Корнеплоды поражаются сухой гнилью и дуплистостью, лен – бактериозом, цветная капуста – корневой гнилью, бобовые культуры желтеют, у табака начинается усыхание верхушки, а у подсолнечника отмирает точка роста.

Бор регулирует процессы опыления и оплодотворения, способствует нормальному развитию завязей, участвует в построении клеточных стенок, контролирует процесс деления клеток в меристеме, но не входит в состав ферментов. Он интенсивно поглощается растениями в период цветения и образования семян. При его недостатке уменьшается количество плодов и семян, снижается урожай.

Существует несколько теорий о роли бора в обмене веществ растений. Наиболее распространенной является гипотеза М.Я. Школьника: бор образует комплексные соединения с фенолом и устраняет его токсическое действие на растения. При дефиците бора в растениях накапливается избыток фенолов, которые замедляют ростовые процессы: нарушается обмен нуклеиновых ки-

слот, белков, углеводов, дыхание и фотосинтез, снижается уровень фитогормонов. Бор входит в состав полигидроксильных соединений, повышающих устойчивость клеточных стенок.

При нехватке элемента в растениях задерживается процесс дифференцирования клеток на ксилему и флоэму, в связи с чем происходит нарушение нормального расположения проводящих элементов, вплоть до полной потери проводимости (например, отток углеводов из листьев в корни).

Бор участвует в образовании фосфорных эфиров глюкозы и АТФ-соединений, обеспечивающих энергией процессы фотосинтеза. При недостатке элемента отмечается снижение образования белков, нуклеиновых кислот и других соединений. Кроме того, он значительно улучшает снабжение корневой системы кислородом.

Бор способен образовывать прочные комплексы с различными органическими соединениями (углеводами, витаминами, органическими кислотами), благодаря чему обеспечивает передвижение продуктов ассимиляции к тканям и органам растений. Дефицит бора ослабляет передвижение пластических веществ.

Данный элемент оказывает наиболее сильное влияние на формирование урожая и качество продукции: улучшает усвоение питательных веществ из почвы, регулирует опыление и оплодотворение, белковый и углеводный обмен, способствует нормальному развитию завязей, повышает устойчивость к болезням.

Существует тесная физиологическая зависимость между питанием растений бором и кальцием. Оба элемента должны находиться в почве в сбалансированном соотношении, что обеспечивает нормальный рост и развитие растений. Так, оптимальное соотношение Са : В у сахарной свеклы равно 100, у сои – 500.

Недостаток бора уменьшает поглощение кальция растениями, а кальций, в свою очередь, обеспечивает уравновешенность почвенного раствора и поступление других необходимых катионов.

Бор относится к элементам, которые не могут повторно использоваться в растении (то есть передвигаться из старых листьев в молодые). Поэтому при недостатке бора в почве в первую очередь страдают точки роста: происходит отмирание верхушечной почки и кончиков корней.

Верхушечная точка роста желтеет, темнеет и при усилении дефицита отмирает. Прекращается доминирующее развитие центрального побега, ненормально разрастаются боковые побеги; растение приобретает кустовидную форму. Могут опадать завязи. Цветков, плодов и семян мало или совсем нет; отмечается пустозерность.

Недостаток бора растения могут испытывать:

- при засухе, когда уменьшается растворимость бора в почвенном растворе;

- при избыточной влажности, когда соли борной кислоты, в виде которых встречается бор, вымываются нисходящим потоком влаги, особенно на почвах легкого гранулометрического состава;
- при известковании кислых почв, когда бор переходит в малодоступное состояние;
- на карбонатных, торфяных, заболоченных, дерново-подзолистых почвах;
- при получении высоких урожаев сельскохозяйственных культур, в связи с большим выносом элемента в севообороте;
- на высоком агрофоне.

Наиболее чувствительны к недостатку бора овощные, бобовые, плодово-ягодные культуры, рапс, картофель. Из злаковых культур не недостаток бора сильно реагирует кукуруза, затем ячмень, пшеница, овес.

Проявление симптомов недостатка бора у различных культур имеет свои особенности.

У *люцерны*, *клевера* наблюдается пожелтение верхушки и отмирание точек роста, слабое развитие или полное отсутствие клубеньков на корнях, много пустоцвета, опадение завязей, мало семян.

У *рапса* молодые листья блестят и загибаются, старые становятся плотными и кожистыми, позднее с желто-красно-оранжевым окаймлением. При сильном борном голодании вокруг точки роста образуется большое количество мелких, недоразвитых листьев, чрезмерно ветвятся боковые побеги, отмирают кончики корней.

У *столовой*, *кормовой* и *сахарной свеклы* постепенно желтеют, темнеют и отмирают сердцевинные листья, верхушечная почка в виде розетки. Отмечается загнивание корня и его разрушение (заболевание «гниль сердечка, вызываемое грибом при недостатке бора в засушливые годы»).

У *картофеля* рост растений задерживается, угнетается точка роста, междоузлия становятся укороченными, черешки листьев – ломкими. На листьях появляются коричневые пятна, расположенные между жилками. Клубни образуются мелкие, трещиноватые, при разрезе быстро темнеют. В нижней части клубня наблюдается покоричневение сосудистого кольца.

У *кукурузы* в верхних междоузлиях буреет и отмирает большая часть сосудистых элементов (межклеточные пространства над верхним узлом заполняются бурым веществом).

У *цветной капусты* головка буреет и загнивает, листья свертываются, темнеют, затем чернеют; в стебле образуется удлиненное дупло с почерневшими краями, корни растут плохо, загнивают.

У *белокочанной капусты* появляется пустота в кочерыжке в районе кочана, края листьев ломкие и жесткие, листья, составляющие вилок, отсоединены от стебля.

У *огурцов* растения имеют карликовый вид, междоузлия сильно укорочены; листья интенсивно темно-зеленые с загибающимися вниз краями, тол-

ще нормальных, твердые, побеги очень ломкие. Усиленно развиваются боковые побеги, но после первого или второго листа их верхушки погибают, плохо растут боковые корни. При сильном дефиците цветы и завязи преждевременно осыпаются.

У моркови листья мелкие с укороченными черешками, желтой, а затем красноватой окраски, корешки разрастаются в глубину и в ширину.

У сельдерея отмечается растрескивание стебля.

У томатов чернеет (отмирает) точка роста; листья становятся темно-пурпурными, мелкими; в нижней части начинают расти новые листья, их черешки становятся ломкими, как и у отрастающих в большом количестве пасынков. Растение приобретает кустовидную форму. Цветы на новых плодовых кистях и плоды опадают. На плодах около плодоножки появляются коричневатые пятна отмерших тканей. Побеги очень ломкие.

У лука листья приобретают синевато-зеленую окраску, на верхней части перьев появляются поперечные трещины.

У плодовых и ягодных культур листья на верхушке побега становятся сизоватыми, утолщаются, морщинятся, бывают ломкими, некротичными по краям; жилки листьев желтеют, темнеют и опробковывают; молодые веточки прекращают рост; на концах побегов листья собраны в розетки, усиленно растут многочисленные пазушные почки.

У плодовых деревьев могут отмирать верхушки. Отмечается побурение, растрескивание, уродливость плодов, появление на их поверхности темно-зеленых вдавленностей, сухой пятнистости и опробковевших пятен как снаружи, так и внутри плодов (яблоня, груша), бурых пятен в мякоти и губкообразной ткани вокруг косточки (у абрикоса); образование мелких морщинистых листьев в узлах, их глубокая рассеченность; ненормальное утолщение верхушки побега и отмирание точки роста (у малины); большое количество недоразвитых мелких ягод (у винограда); малый размер, сморщенность, чашеобразная форма листьев с побуревшими кончиками, деформированность ягод (у земляники).

В Калининградской области 23% почв плохо обеспечены бором, то есть содержат его менее 0,5 (минеральные) и менее 1,0 мг/кг (торфяные).

Ликвидировать дефицит бора можно путем внесения борных микроудобрений, органики, известковых материалов. Содержание элемента в 1 т удобрений: навоз – 3–7, солома – 1–4, низинный торф – 1–2, доломитовая мука – 1–3 г.

Органические удобрения в дозе 12–13 т на 1 га полностью устраняют недостаток бора.

Наиболее эффективным методом является внесение борных микроудобрений в почву. Считается, что применение до 2 кг д.в. (чистого бора) на 1 га под наиболее чувствительные к дефициту элемента культуры: свеклу, бобовые, овощные, картофель, кукурузу – позволяет удовлетворить их потребность в боре на 10 лет. Недостаток метода – его высокзатратность. Хо-

рошие результаты дает внесение на почвах с содержанием бора менее 0,3 мг/кг гранулированного суперфосфата с бором (P_2O_5 – 20%, В – 0,2%) при посеве в рядок дозой 50–100 кг физического веса на гектар.

Недопустима передозировка борных удобрений – при этом бор в почве быстро становится токсичным, что отрицательно сказывается на урожае и его качестве.

Наиболее экономичными способами применения борных микроудобрений является предпосевная обработка семян и некорневая подкормка. Предпосевная обработка зерновых и зернобобовых культур проводится на машинах типа ПС-10 борной кислотой в дозе 80–100 г физического веса на 1 т семян совместно с пестицидами. Семена овощных культур, многолетних трав обрабатывают с помощью опрыскивателя, расстелив тонким слоем на полиэтиленовой пленке и перемешивая их.

Расход борной кислоты – 10–20 г на гектарную норму семян, воды – соответственно 1 и 2 л. Картофель можно опрыскивать в тракторном прицепе или бурте раствором борной кислоты – 20 г на 30 л воды и расходовать в два-три приема на 3–4 т клубней.

Некорневую подкормку растений можно проводить как профилактически, в фазы интенсивного роста культур (но не менее чем за 8–10 дней до начала цветения), так и при обнаружении признаков недостаточности. Оптимальные сроки проведения подкормок следующие:

- выход в трубку, колошение – у зерновых;
- начало бутонизации – у рапса и бобовых культур;
- перед началом цветения – у многолетних трав;
- перед выметыванием метелок – у кукурузы;
- в период хорошо развитой ботвы до смыкания рядков – у корнеплодов, картофеля, овощных культур.

Возможно совмещение микроэлементной подкормки с обработкой пестицидами после предварительной проверки на совместимость.

На 1 га посева зерновых, зернобобовых культур и картофеля необходимо 70–100 г борной кислоты и 200–300 л воды; для овощных культур, рапса, кукурузы и многолетних трав – 150 г. Лучшее время обработки – раннее утро или вечер в безветренную погоду. Не допускается подкормка растений сразу после дождя – они должны обсохнуть.

Применение борных микроудобрений оказывает положительное влияние на развитие растений, качество и величину урожая сельскохозяйственных культур. Многочисленными исследованиями установлено, что появление цветов, созревание плодов и семян при этом происходит на 7–14 дней раньше. В плодах и овощах повышается содержание сахаров, витамина С, улучшается вкус, повышается устойчивость к загниванию при хранении. В клубнях картофеля увеличивается содержание сухого вещества и крахмала на 0,3–2,1%, а поражаемость паршой снижается в 2 раза. На лугопастбищных угодьях под влиянием бора в травостое увеличивается масса бобовых трав в

1,3–2 раза, значительно повышается питательная ценность сена и сбор кормовых единиц с 1 га.

Медь

Среднее содержание меди в растениях 0,0002%, или 0,2 мг на 1 кг массы и зависит от видовых особенностей и почвенных условий. Медь играет важную роль в азотном питании, участвует в гормональной регуляции, регулирует содержание и активность ауксинов и ингибиторов роста, повышает устойчивость растений к полеганию.

Недостаток меди задерживает рост и цветение. У плодовых культур при остром дефиците меди наблюдается суховершинность.

Недостаток меди в большей степени отражается на клевере, луговом просе, бобовых, овощных культур, овсе, ячмене, пшенице, злаковых травах, конопле, льне, кормовых и столовых корнеплодах.

Дефицит этого элемента обуславливает замедление роста, хлороз, потерю тургора и увядание, задержку цветения и гибель растений. У злаков недостаток меди вызывает усиление кущения и бледно-зеленую окраску, при сильном дефиците меди наблюдается побеление кончиков листьев («белая чума» или «болезнь обработки»), колос не развивается.

Медь составляет основу ряда ферментов, оказывающих влияние на окислительно-восстановительные процессы, фотосинтез, образование белков, углеводов, лигнина, ростовых веществ – ауксинов, фиксацию атмосферного азота клубеньковыми бактериями.

Данный элемент повышает засухо- и морозоустойчивость сельскохозяйственных культур, устойчивость к грибным и бактериальным болезням.

Недостаток подвижной меди растения могут испытывать:

- при внесении известковых материалов в полных дозах (снижение подвижной меди на 10–15%);
- на почвах, богатых органическим веществом (торфяно-болотных) и карбонатами, вследствие уменьшения подвижности и доступности растениям;
- на кислых песчаных почвах и залежных землях;
- при высокой концентрации в почве ионов фосфора, цинка, аммония и закисного железа;
- при избытке подвижных форм тяжелых металлов в почве;
- при жаркой погоде.

К недостатку меди наиболее чувствительны зерновые и плодовые культуры.

У зерновых культур через 4–6 недель после всходов отмечается побеление и засыхание кончиков листьев. Сами растения бледно-зеленые, усиленно кустятся, колосья изогнутые и не выходят из листовых влагалищ. Зерно – щуплое или совсем не образуется. При усилении дефицита не происходит колошения, стебли засыхают.

У плодовых культур (яблоня, груша, слива, персик, абрикос) при слабом дефиците меди развивается хлороз тканей между жилками молодых листьев. При остром недостатке – суховершинность: листья на верхушках побегов буреют и отмирают, позже отмирают и погибают книзу сами побеги, на коре образуются трещины, отмечается камедетечение.

Достаточно чувствительны к недостатку меди бобовые культуры, корнеплоды, картофель, овощи, многолетние травы со злаковым травостоем, силосные мешанки.

У бобовых сильно снижается абсолютный вес семян.

У гречихи в период цветения наблюдается пониклость цветоносов, семян образуется мало.

У свеклы молодые листья синеваато-зеленые, старые – хлоротичные, начиная с кончиков, жилки остаются зелеными.

У картофеля молодые листья постоянно увядшие, верхушечные почки погибают при развитии цветочных почек.

У томатов рост побегов замедляется, корни развиваются слабо. Листья мелкие, сине-зеленые, теряют тургор и закручиваются. Цветов нет или они осыпаются до образования завязи.

У огурца листья светло-зеленые с белыми кончиками. Рост заторможен, отмечается потеря тургора листьями. Цветы и завязи опадают.

В нашей области 51% площади папши испытывает недостаток меди, который можно восполнить внесением удобрений. Содержание меди в 1 т удобрений: навоз – 2,5–3,5; солома – 1,5–2,5; торф – 6,5–9; доломитовая мука – 1,5–2,5; суперфосфат – 15–23; сульфат аммония – 0,5–1,5; аммиачная селитра – 1,3 г.

При низком содержании подвижной меди в почве (минеральных – менее 3 мг/кг, торфяных – менее 7) эффективна предпосевная обработка семян зерновых и зернобобовых культур сернокислой медью (25% меди): 800–1000 г на 1 т семян совместно с протравливанием фунгицидами. Для смачивания семян многолетних злаковых и бобовых трав, овощных культур необходимо 15–20 г соли меди растворить соответственно в 2 и 1 л воды. Некорневая подкормка из 200–250 г сернокислой меди, растворенной в 200 л воды, позволит устранить начинающийся дефицит элемента на 1 га посевов.

Цинк

Содержание цинка в надземных частях бобовых и злаковых растений составляет 15–16 мг на 1 кг сухой массы. Повышенная концентрация отмечается в листьях, репродуктивных органах и конусах нарастания, наибольшая в семенах. Цинк участвует в синтезе растительного гормона – ауксина.

Недостаток цинка резко тормозит рост и формирование побегов, при его дефиците накапливаются редуцирующие сахара, уменьшается содержание сахарозы и крахмала, увеличивается количество органических кислот и небелковых соединений азота. При недостатке цинка в растениях нарушается

фосфорный обмен, а также в 2–3 раза подавляется скорость деления клеток, что приводит к морфологическим изменениям листьев, нарушению растяжения клеток и дифференциации тканей.

К недостатку цинка очень чувствительны плодовые культуры, особенно цитрусовые, а также кукуруза, соя, фасоль, гречиха, свекла, хмель, картофель, клевер луговой. Дефицит цинка вызывает мелколистность и розеточность у яблони, персика, айвы, вишни, пятнистость листьев у цитрусовых; побеление или хлороз верхних листьев, укорачивание междоузлий у кукурузы, мелколистность и скручивание листовых пластинок и черешков у томатов.

Цинк активирует около 13 окислительно-восстановительных ферментов (карбоангидраз, фосфатаз, дегидраз и др.). Он участвует в синтезе хлорофилла, рибонуклеиновой кислоты, белка и соединений, регулирующих ростовые процессы (ауксинов и гиббереллинов), в превращениях углеводов; усиливает азотный и белковый обмен, процессы дыхания и фотосинтеза; повышает водоудерживающую способность растительных клеток, играет большую роль в процессе плодоношения.

Оптимальное содержание цинка в почве обеспечивает нормальное протекание всех контролируемых этим элементом процессов, что способствует повышению синтеза сахаров, белковых веществ, содержания хлорофилла, сухого вещества, аскорбиновой кислоты. Кроме того, растения становятся более засухо- и холодоустойчивыми.

При дефиците цинка в растениях накапливается избыточное количество органических кислот, небелковых форм азота (амидов, аминокислот), фенольных соединений.

Проявление недостатка цинка возможно:

- на нейтральных и карбонатных почвах. Соли цинка наименее растворимы в интервале рН 5,5–7,5;
- на почвах легкого гранулометрического состава;
- на малоплодородных и старопахотных почвах (при низком содержании органического вещества);
- на торфяных почвах;
- при высоком содержании фосфора в почве и внесении больших (более 120 кг д.в./га) доз фосфорных удобрений (образуются труднодоступные растениям соли – фосфаты цинка);
- при избыточном накоплении меди в почве;
- при низкой и высокой температуре;
- на уплотненных почвах.

Дефицит цинка у растений проявляется хлоротичными пятнами на краях листьев, которые затем распространяются к средней жилке. При усилении недостаточности весь лист становится желтым или белым; растения вегетируют, но не плодоносят. Особенно страдают от недостатка цинка кукуруза, фасоль, люцерна, травы.

Некоторые культуры имеют свои, специфические признаки цинковой недостаточности.

У *яблони, груши* наблюдается «розеточная болезнь»: на концах ветвей много мелких листьев, собранных в виде розетки. Листья деформированные, узкие, у верхушки отмечается междужилковый хлороз. Плоды мелкие, уродливые, заостренной формы.

У *косточковых пород* (сливы, вишни, персика, абрикоса) и винограда отмечается мелколиственность.

У *персика* при снятии кожицы происходит быстрое побурение мякоти плода.

У *кукурузы* возникает болезнь «белые ростки» - всходы белесовато-зеленой окраски. У молодых растений между жилками появляются желтоватые полосы, жилки остаются зелеными. Рост замедлен, междоузлия укорочены. Початки мелкие, плохо развиты.

У *гречихи* листья мелкие, узкие, с белесым оттенком или крапчатостью, междоузлия укороченные.

У *фасоли, сои, цитрусовых культур* наблюдается крапчатость листьев с последующим отмиранием этих участков. Кроме этого, у фасоли и сои формируются ассиметричные листовые пластинки.

У *томатов* листья имеют бронзовый оттенок, очень узкие, закрученные в виде спирали.

У *огурцов* листья мелкие, с открытыми черешковыми выемками, при сильном дефиците листья деформируются.

У *картофеля* в средней части ботвы на листьях появляются серовато-бурые пятна, края листьев заворачиваются вверх.

У *гороха* края листья становятся хлоротичными, затем коричневеют и отмирают. Цветы не образуются.

Низким содержанием подвижного цинка считается уровень 3 мг/кг для минеральной почвы и 6 – для торфяной.

Эффективность цинковых удобрений зависит не только от содержания элемента в почве, но и от чувствительности к нему культур.

По этому признаку растения можно разделить следующим образом:

- очень чувствительные: кукуруза, плодовые, виноград, хмель;
- среднечувствительные: клевер, горох, соя, огурцы, картофель, капуста, лук, подсолнечник, зерновые и ягодные культуры.

Дефицит элемента можно восполнить внесением различных удобрений, каждая тонна которых содержит цинк в следующих количествах: навоз – 60, солома – 15–21, суперфосфат – 49 г.

Лучшим способом предотвращения недостатка цинка является предпосевная обработка семян зерновых культур сернокислым цинком в дозе 800–1000 г на 1 т или 10–15 г на гектарную норму семян других культур. Для некорневой подкормки требуется 200–250 г соли цинка. Расход воды такой же, как для приготовления растворов сернокислой меди.

Для создания оптимальных условий развития такой коммерчески выгодной культуры, как озимый рапс, в фазу начала стеблевания (ветвления) и образования соцветий рекомендуется некорневая подкормка посевов растворами сернокислого цинка или меди в указанных выше дозах. В этот период происходит усиленный рост новых листьев, формирование генеративных органов цветка и образование соцветий. Успешное прохождение фаз обеспечивает реализацию потенциально возможной продуктивности озимого рапса, которая зависит не только от обеспеченности растений основными элементами питания, но и микроэлементами.

У плодовых культур при слабовыраженной розеточности листьев в период вегетации может провести две-три некорневые подкормки 0,3–0,5%-ным раствором сернокислого цинка. Возможно также опрыскивание деревьев после листопада или рано весной, до распускания почек, растворами следующей концентрации: 2–3%-ным – при слабом поражении «розеточной» болезнью, 4–5%-ным – при среднем и 6–8%-ным – при сильном.

К недостатку цинка очень чувствительны плодовые культуры, особенно цитрусовые, а также кукуруза, соя, фасоль, гречиха, свекла, хмель, картофель, клевер луговой. Дефицит цинка вызывает мелколистность и розеточность у яблони, персика, айвы, вишни, пятнистость листьев у цитрусовых; побеление или хлороз верхних листьев, укорачивание междоузлий у кукурузы, мелколистность и скручивание листовых пластинок и черешков у томатов.

Марганец

Среднее его содержание 0,001%, или 1 мг на 1 кг сухой массы тканей. Марганец активизирует ферменты, катализирующие реакции цикла Кребса, участвует в окислении фитогормона – ауксина. Необходим для нормализации фотосинтеза, фотолиза воды, восстановления углерода, участвует в восстановлении нитратов до аммиака, способствует оттоку сахаров из листьев, поддерживает структуру хлоропластов. Без марганца хлорофилл быстро разрушается на свету. Марганцевое голодание сказывается прежде всего на овсе, пшенице, картофеле, столовых и кормовых корнеплодах, кукурузе, капусте, бобовых, подсолнечника, плодово-ягодных и цитрусовых культур, ряде овощных культур. Характерные симптомы марганцевого голодания – точечный хлороз листьев: между жилками проявляются желтые пятна, но жилки остаются зелеными.

Признаки недостатка марганца из-за малой подвижности элемента наиболее проявляется на молодых листьях. У овса наблюдается пятнистость листьев, у сахарной свеклы – пятнистая желтуха.

Марганец является элементом с переменной степенью окисления, его физиологическая роль связана с участием в окислительно-восстановительных реакциях через активацию ряда ферментов: пептидаз, ферраз, фосфатаз, карбоксилаз. Поэтому он оказывает большое влияние на процессы фотосинтеза,

дыхания, образования белков, углеводов (в том числе сахаров), обмене ауксинов.

Марганец участвует в окислении железа, восстановлении нитратов, накоплении витамина С. Этот элемент способствует избирательному поглощению ионов из питательных растворов, устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды.

При недостатке марганца нарушается обмен веществ, приостанавливается рост, падает урожай.

Дефицит марганца может возникать:

- на нейтральных и близких к ним карбонатных, известкованных почвах (при $pH_{\text{сол}} \geq 5,8$) в результате перевода его в труднодоступную форму;
- на торфяных почвах и почвах с высоким содержанием органического вещества;
- на кислых почвах легкого гранулометрического состава вследствие вымывания в нижележащие слои почвы;
- при низкой интенсивности освещения;
- в результате антагонизма с ионами магния, натрия, кальция, железа, аммония, меди, цинка.

Специфическим признаком дефицита марганца у двудольных культур является точечный хлороз – мелкие желтоватые крапинки между жилками молодых верхушечных листьев. Жилки остаются зелеными. Впоследствии крапинки переходят в некрозы – коричневеют и отмирают. Листья опадают, рост задерживается, но точка роста (как при недостатке бора) не отмирает.

У однодольных культур (злаки) молодые листья становятся светло-зелеными; в нижней части листа появляются серые, серо-зеленые или бурые постепенно сливающиеся пятна с темным окаймлением (чего не бывает при дефиците железа).

Наряду с общими, у растений могут быть и свои признаки недостатка марганца.

У *овса*, как наиболее чувствительной культуры, признаки недостатка марганца проявляются в первую очередь на старых листьях – желтые и серые пятна и полосы, так называемая сухая пятнистость.

У *столовой свеклы* молодые листья становятся темно-красными, между жилками возможен хлороз, ботва растет вертикально.

У *томата* желтеют листья среднего яруса. При сильном дефиците возникают небольшие пятна некрозов вблизи главной жилки, молодые листья не поражаются.

У *огурца* наблюдается четко выраженный мраморный налет, хлоротичные пятна на краях и кончиках листьев среднего яруса, некрозные пятнышки в виде точек на пластинке листа. Постепенно желтеет весь лист. Листья небольшого размера, желтеют цветочные почки.

У картофеля поверхность молодых листьев неровная, хлоротичные пятна между жилками выпячиваются вверх; зеленые жилки остаются внизу, на нижней поверхности точечный некроз. Рост растений замедлен.

У зерновых культур (пшеницы, ржи, ячменя, овса) отмечается междужилковый хлороз в виде удлинённых полосок. Жилки остаются зелеными. Впоследствии в нижней части листа появляются серые пятна – «серая пятнистость». Раньше всех на дефицит марганца реагирует овес.

У кукурузы на старых листьях появляются желтые или серые пятна (или полосы).

У гречихи недостаток марганца чаще всего возникает при $pH > 6,5$. На молодых листьях между жилками образуются хлоротичные пятна разных оттенков (серые, светло-зеленые).

У плодовых культур хлороз заметен на старых листьях (а не на молодых, как при дефиците железа), начинается между жилками у края листа и распространяется к центральной жилке. У деревьев облиственность слабая, листья и опадают рано.

Наиболее чувствительны к недостатку марганца свекла (столовая, кормовая, сахарная), картофель, овсе, горох, фасоль, капуста, яблоня, вишня, слива, абрикос, персик, малина.

Почвы, которые хорошо обеспечены марганцем, характеризуются его высоким содержанием 72%, низким – 28%. При наличии менее 50 мг подвижного марганца в 1 кг минеральной почвы и менее 100 мг – в торфяной эффективно использование марганцевых микроудобрений под сельскохозяйственные культуры, особенно под наиболее требовательные к данному элементу.

Для предпосевной обработки семян зерновых и зернобобовых культур необходимо 800–1000 г сернокислого марганца (Mn – 22,8%) на 1 семян. Это количество растворяют в 10–15 л теплой воды; согласно инструкции готовят раствор ядохимиката с прилипателем, заливают в бак протравочной машины и доливают воды до объема 150–180 л.

Семена овощных культур, многолетних злаковых и бобовых трав обрабатывают из расчета 20–25 г сернокислого марганца на гектарную норму. Расход воды соответственно 1 и 2 л. Для обработки 1 т клубней картофеля необходимо 50 г сернокислого марганца и 10 л воды.

Экстренной помощью сельскохозяйственным культурам при дефиците элемента является некорневая подкормка их сернокислым, хлористым (Mn – 27,8%) или азотнокислым (Mn – 19,1%) марганцем в дозе 200–250 г и расходом воды 200–300 л на 1 га.

Молибден

Наибольшее содержание молибдена характерно для бобовых – 0,5–20 мг на 1 кг сухой массы; злаков – от 0,2 до 2,0 мг на 1 кг сухой массы. Концентрируется молибден в молодых растущих органах. Его больше в листьях,

чем в корнях и стеблях. В листьях он сосредоточен, в основном, в хлоропластах.

Молибден принимает участие в восстановлении нитратов, в фиксации атмосферного азота в клубеньках бобовых, оказывает влияние на уровень накопления аскорбиновой кислоты.

При недостатке молибдена в тканях накапливается большое количество нитратов, клубеньки не развиваются, приобретают желтый или серый цвет (нормальная окраска клубеньков – красная).

Недостаток молибдена встречается на кислых почвах, в которых он мало подвижен.

При дефиците молибдена тормозится рост, из-за нарушения синтеза хлорофилла растения выглядят бледно-зелеными.

Признаки недостатка молибдена у бобовых растений весьма сходны с признаками азотного голодания. При сильном дефиците молибдена резко тормозится рост растений, они имеют бледно-зеленую окраску, происходят деформация и отмирание листьев, плохо развиваются или совсем не образуются клубеньки на корнях. Недостаток этого элемента особенно ярко проявляется на цветной капусте, бобовых и зеленных культурах, томатах, цитрусовых. У большей части культур развивается желтая пятнистость листьев, у огурца – хлороз края листовых пластинок.

Молибден участвует в азотном, фосфорном и углеводном обмене, регулирует процессы фотосинтеза и образования нуклеиновых кислот. Он входит в состав ряда ферментов, среди которых следует отметить нитратредуктазу, осуществляющую процесс восстановления нитратов до нитритов, что является первой ступенькой к образованию белка при недостатке молибдена накапливается избыток нитратов, снижается образование фосфорорганических соединений и интенсивность фотосинтеза. Особенно возрастает роль данного элемента при нитратном питании растений.

У бобовых культур молибден входит в состав нитрогеназного комплекса клубеньковых бактерий, осуществляющих фиксацию атмосферного азота и переводящих его в доступную для растений форму. При нехватке этого элемента ухудшается развитие клубеньков на корнях, поэтому растения этого семейства наиболее чувствительны к дефициту молибдена. Отрицательно реагируют на низкое его содержание в почве растения группы капустных (кочанная и цветная капуста), салат, томаты.

При дефиците молибдена у растений происходит нарушение азотного и водного обмена.

У большинства культур внешне это выражается появлением расплывчатых желтых пятен, посветлением окраски молодых листьев, особенно у центральной жилки, что напоминает дефицит азота. Часто отмечается междужилковый хлороз, недоразвитость, искривление листовых пластинок, снижение тургора их краев. При сильном дефиците молибдена возможно отми-

рапии частей листа и точек роста. Резко снижается урожай в связи с уменьшением поступления азота к репродуктивным органам.

Недостаток подвижного молибдена растения могут испытывать:

- на кислых почвах;
- при внесении высоких доз физиологически кислых удобрений и нитратного азота;
- на почвах легкого гранулометрического состава;
- при высоком содержании в почве органического вещества, ионов марганца, меди, железа, сульфатов;
- при получении высоких урожаев на фоне хорошей агротехники.

Наибольшая усвояемость элемента растениями отмечается в интервале рН 5,5–7,5 и снижается по обе стороны от него. Повышенная кислотность среды усиливает поглощение молибдена почвой и делает его недоступным для растений.

Дефицит молибдена проявляется у сельскохозяйственных культур по-разному.

У клевера недостаток молибдена сказывается на второй год жизни: растения трогаются в рост позже обычного, количество стеблей и листьев у них меньше, чем у нормально развивающихся растений, листовые пластинки более удлиненной формы, черешки листьев – укороченные, тонкие, с красноватым оттенком. Клубеньки на корнях становятся серыми и мелкими. Цветение слабое, урожай резко снижается.

У цветной капусты листья сморщиваются, пузырятся, приобретают грязно-зеленую окраску и ланцетовидную форму. Половинки листа несимметричны по отношению к центральной жилке. Иногда листовая пластинка совсем отсутствует и остается одна средняя жилка – так называемый «симптом хлыста». Головка мелкая, иногда при сильном недостатке молибдена вообще не завязывается.

У томатов на старых и средних листьях жилки теряют окраску, между жилками появляются пятна ярко-желтого цвета, края закручиваются кверху.

У огурцов отмечается хлороз по краям листьев.

Для злаковых культур характерна узколистность, светло-желтая окраска и закручивание кончиков листьев внутрь, их постепенное отмирание.

На минеральных почвах с содержанием элемента менее 0,25 мг/кг (торфяных – менее 0,64) необходимо применение молибденовых удобрений.

Наибольшую потребность в молибдене испытывают зернобобовые и овощные культуры, многолетние бобовые и злаковые травы, лугопастбищные угодья.

Предотвратить недостаток молибдена у сельскохозяйственных культур можно путем предпосевной обработки семян молибденовокислым аммонием: при механизированном способе совместно с протравливанием семян зерновых и зернобобовых культур – 400–600 г на 1 т; при смачивании гектарной нормы семян многолетних бобовых, злаковых трав и овощных – 50–60 г. В

первом случае указанное количество молибденовокислого аммония растворяют в 2 л воды, во втором – в 1 л.

Для некорневой подкормки растений используют на 1 га 100–150 г молибденовокислого аммония, растворенного в 200 л воды.

Для клевера первого года жизни этот вид подкормки наиболее эффективен в самые ранние сроки – осенью, после уборки покровной культуры. Это улучшает развитие фотосинтетической поверхности листьев, повышает содержание углеводов в корнях и зимостойкость растений, что, в конечном счете, положительно сказывается на урожае.

В той же дозе молибденовокислый аммоний используют для ликвидации дефицита молибдена у других растений.

Большая роль в мобилизации почвенных запасов молибдена принадлежит известкованию. Молибден является единственным из микроэлементов, подвижность и доступность которого резко возрастает после данного агротехнического приема. При этом отпадает необходимость применения молибденовых микроудобрений

Кроме того, в них повышается количество белка, хлорофилла, аскорбиновой кислоты и витаминов.

Признаки недостатка молибдена у бобовых растений весьма сходны с признаками азотного голодания. При сильном дефиците молибдена резко тормозится рост растений, они имеют бледно-зеленую окраску, происходят деформация и отмирание листьев, плохо развиваются или совсем не образуются клубеньки на корнях. Недостаток этого элемента особенно ярко проявляется на цветной капусте, бобовых и зеленных культурах, томатах, цитрусовых. У большей части культур развивается желтая пятнистость листьев, у огурца – хлороз края листовых пластинок.

Кобальт

Среднее содержание кобальта в растениях – 0,00002%, или 0,02 мг на 1 кг сухой массы. Кобальт необходим бобовым растениям для обеспечения размножения клубеньковых бактерий. В растениях кобальт встречается в порфириновом соединении – витамине В₁₂. Витамин В₁₂ вырабатывается бактероидами клубеньков бобовых растений.

Внешние признаки недостатка кобальта у бобовых растений сходны с признаками азотного голодания.

Роль данного элемента в обмене веществ у растений изучена мало. Установлено, что он активизирует фермент пиррогеназу, который необходим для усвоения молекулярного азота бобовыми растениями. Кроме того, кобальт повышает интенсивность дыхания у растений, содержание аскорбиновой кислоты, оказывает положительное влияние на энергетический обмен, синтез и накопление жиров, сахаров, образование хлорофилла и белков. Однако признаки кобальтовой недостаточности у растений обнаружены не были.

Вместе с этим следует отметить важную роль кобальта в жизни человека и животных. Он является составляющей витамина В₁₂, необходимого для усвоения железа, образования гемоглобина и красных кровяных телец – эритроцитов. При нехватке В₁₂ развивается анемия, нарушается функция печени и репродуктивная функция.

Потребность в кобальте увеличивается на следующих почвах:

- известкованных;
- торфяных и пойменных дерновых;
- песчаных и супесчаных;
- слабокультурных, с содержанием гумуса менее 2%.

В большинстве применяемых минеральных удобрений кобальт не содержится, в органических удобрениях и соломе его очень мало, соответственно 0,5 и 0,12 г на 1 т. Поэтому основным способом оптимизации содержания кобальта в растениеводческой продукции является применение кобальтовых микроудобрений.

Исследованиями установлено, что наиболее экономически выгодный агроприем – предпосевная обработка семян солями кобальта – сернокислой (Со – 21%) или азотнокислой (Со – 20,3%). На 1 т зерновых и зернобобовых культур при механизированной обработке семян совместно с протравливанием необходимо 400–600 г одной из солей кобальта. Для овощных культур, многолетних трав – 50–70 г на гектарную норму семян (воды, соответственно, 1 и 2 л). При некорневой подкормке используют 100–150 г одной из солей кобальта и 200–300 л воды на 1 га.

Некорневая подкормка озимого рапса солями кобальта в указанной дозе, проведенная в фазы начала бутонизации и образования венчика цветка, положительно сказывается на качестве семян – в них повышается масличность, содержание протеина и элементов питания.

Наиболее отзывчивы к кобальтовым микроудобрениям бобовые культуры, ячмень, овощи, многолетние травы со злаковым травостоем. Исследованиями установлено, что обработка семян и некорневая подкормка кормовых бобов, корнеплодов, озимого рапса, клубней картофеля, кукурузы увеличивают урожай культур на 10–20%.

Кобальтовые микроудобрения оказывают положительное влияние и на качество урожая: повышается содержание сахаров, аскорбиновой кислоты, аминокислот, выход белка и жира с гектара.

Алюминий

Этот элемент имеет большое значение в обмене веществ у гидрофитов. В высоких дозах алюминий связывается в клетках с фосфором, что приводит к фосфорному голоданию растений. При недостатке алюминия у растений наблюдается хлороз.

Кремний

Особенно его много в клеточных стенках. Растения, накапливающие кремний, имеют прочные стебли. Недостаток кремния может задерживать рост злаков (кукуруза, овес, ячмень) и двудольных растений (огурец, томат, табак, бобы). Исключение кремния во время репродуктивной стадии вызывает уменьшение количества семян, при этом снижается число зрелых семян. При отсутствии в питательной среде кремния нарушается ультраструктура клеточных органелл.

Самое существенное замечание по визуальной диагностике сводится к ее неоперативности. Внешние признаки недостатка или вредного избытка того или иного элемента питания проявляются после длительного воздействия этого фактора, когда нарушение питания вызвало глубокие и необратимые изменения, исправить которые часто бывает невозможно. Высокая окультуренность почв, оптимизация их агрохимических свойств является надежным условием устранения резких отклонений в питании растений. Недопустимо, чтобы на полях, отводимых под интенсивную технологию, могла бы возникнуть такая обстановка для питания возделываемой культуры, при которой у растений появились бы внешние признаки недостатка или вредного избытка того или иного питательного вещества.

Тема 14. ХИМИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Химическая диагностика. Более раннее обнаружение нарушений питания растений устанавливается путем определения химического состава растений. Такая диагностика имеет опережающий характер контроля за посевами, и позволяет принять своевременные меры для устранения обнаруженного нарушения в питании растений.

Разработаны различные методы растительной химической диагностики. Для каждого из них устанавливаются свои оптимальные показатели содержания того или иного элемента питания в растениях, с которыми сравнивают результаты анализа, проведенного на посевах в конкретных условиях возделывания сельскохозяйственной культуры.

Наибольшее распространение получили тканевая и листовая диагностика.

14.1. Методы химической диагностики

Химический состав растений отражает их способность извлекать питательные вещества из почвы при данном сочетании внешних условий. Химический анализ растений позволяет не только корректировать процесс их питания с помощью внесения удобрения в определенные фазы развития, но и прогнозировать величину и качество урожая задолго до уборки.

Проводя химическую диагностику, следует учитывать, что при хорошей обеспеченности питанием, оптимальном соотношении элементов и при высоком уровне агротехники в результате ускорения ростовых процессов на каждую единицу поглощенных питательных элементов образовавшаяся масса растений может быть больше, чем обычно бывает на данной фазе. Поэтому относительное (процентное) содержание элементов может быть ниже оптимального. В этом случае кроме его сопоставления с общим состоянием растений и их массой необходимо подсчитывать суммарное накопление растениями питательных элементов, характеризующее активность их потребления и использования.

К методам химической диагностики относятся тканевая экспресс-диагностика и листовая диагностика, где определение содержания элементов питания проводится с помощью химических реактивов в индикаторных органах растений. Неслучайно чаще всего органом-индикатором является лист. Для листьев характерны закономерные изменения состава в зависимости от условий питания, а также высокая корреляция их химического состава с конечной урожайностью культуры.

Метод тканевой экспресс-диагностики предназначен для быстрого ориентировочного контроля питания растений в ранние фазы развития, когда корректировка обнаруженного дефицита элемента наиболее эффективна. Это полуколичественный метод определения концентрации неорганических форм азота (NO_3), фосфора и калия, основанный на их взаимодействии с различными химическими реактивами и получении цветного окрашивания срезов

свежих растений, сравниваемого по интенсивности окраски с соответствующей шкалой и оцениваемого в баллах (от 1 до 3).

Листовая диагностика основана на определении содержания валового (общего) количества элементов питания в индикаторных органах растений (листьях, отдельных органах и целом растении). У молодых растений, рассады и проростков анализируют всю надземную часть.

Для основных сельскохозяйственных культур опытным путем установлены количественные параметры содержания элементов питания в разные фазы развития – от низкого до оптимального и очень высокого (табл. 9). Величина оптимума, согласно исследованиям, постоянна и является физиологической характеристикой данного вида. Она определяется нормальным прохождением всех фаз развития и высоким уровнем урожая. Фактически полученный результат сравнивают с оптимумом и дают рекомендации по корректировке питания растений.

Таблица 9

Содержание нитратов, фосфатов и калия в баллах по шкале Церлинг В.В., мг/кг на сырое вещество

Балл	Соединение		
	нитратный азот (N)	неорганические фосфаты (P ₂ O ₅)	калий (K ₂ O)
Следы	0 – следы	86,5 ± 3,0	0 – следы
1	0 – 28 ± 6,1	121 ± 7,0	1300 ± 350
2	67 ± 3,6	174 ± 13,7	2400 ± 120
3	151 ± 6,1	225 ± 24,5	3300 ± 180
4	174 ± 7,2	415 ± 43,5	3700 ± 130
5	221 ± 4,8	692,5 ± 50,4	5400 ± 230
6	710 и более ± 9,4	Нет баллов по шкале	

Этим методом пользуются для диагностики содержания питательных веществ в более поздние фазы развития, когда неорганические соединения уже восстановлены до сложных органических веществ и не определяются в растениях. Результаты листовой диагностики применяются для корректировки системы удобрения и агротехнических приемов возделывания данной культуры в следующем году. Указанным методом можно пользоваться и в разные фазы развития растений до внешнего проявления дефицита, но по затратам времени на подготовку и проведение анализов он более трудоемкий, чем тканевая экспресс-диагностика.

Тема 15. ТКАНЕВАЯ ДИАГНОСТИКА

Тканевая диагностика – это определение содержания неорганических минеральных форм соединений элементов питания в отдельных тканях свежих растений, в соке или в вытяжке из растений. Для тканевой диагностики используют части растения, богатые сосудисто-проводящей системой (стебли, черешки, главные жилки листа), в которых содержание неорганических форм питательных элементов наиболее резко изменяется в зависимости от их содержания в почве в доступной форме.

При тканевой диагностике анализируют свежие образцы (здесь важно сохранить неизменными неорганические формы питательных элементов) или фиксировать пробы в термостате в течение 40 мин при температуре 90–100⁰С для прекращения деятельности ферментов, а затем высушивать. Анализ растительных проб проводят непосредственно в поле или лаборатории хозяйства с использованием экспресс-лабораторий, выпускаемых промышленностью, либо отправляют в лаборатории агрохимической службы.

По сути дела, при этом характеризуется резерв питания, поскольку полученные данные указывают на количество минеральных форм питательных веществ, содержащихся в растении и не использованных им на синтез органических соединений. При этом необходимо учитывать, что синтез органических веществ зависит не только от количества одного элемента, но и от обеспеченности другими элементами питания. Например, при недостатке фосфора или калия сдерживается использование нитратов на образование азотистых органических соединений и в растениях накапливается избыток нитратов. Поэтому для правильной оценки целесообразно определять не менее трех элементов питания: нитраты, фосфаты и калий.

В засушливых условиях количество минеральных форм в растениях уменьшается. Похолодание, недостаток солнечного освещения и других факторов, сдерживающих рост растений и затрудняющих фотосинтез, приводит к увеличению резерва нитратов в тканях растений.

Для тканевой диагностики применяют различные методы. Наибольшее распространение получает использование портативных приборов, которые дают возможность проводить оперативные определения непосредственно в поле.

При анализе экспресс-методами используют срезы тканей индикаторных органов или выжатый из них сок или вытяжку в уксусной кислоте. Для определения нитратов, неорганических форм фосфора, калия и других элементов применяют реакции, при которых образуются окрашенные продукты. Интенсивность образующейся окраски отражает концентрацию определенного иона. Полученную в ходе реакции окраску среза или сока растений сравнивают с цветной стандартной шкалой и оценивают в баллах. Так, для определения нитратного азота в растительных срезах используют раствор дифе-

ниламины в концентрированной серной кислоте, образующий при реакции с нитратами продукт с синей окраской.

Для определения содержания питательных веществ по реакциям, проводимым на срезах свежих растений, по Церлинг В.В., используют прибор ОП-2, а в соке, выжатом из растения – полевую сумку Магницкого.

Для оперативного контроля за условиями питания зерновых культур (и других) на ранних фазах развития и установления целесообразности подкормки наиболее пригоден прибор ОП-2. Определение основано на цветных реакциях. Полученные в результате реакции цветные пятна сравнивают со шкалой (прилагается к прибору) и оценивают в баллах, по которым делается решение о внесении удобрений (табл. 10).

Таблица 10

Шкала потребности растений в удобрениях по Церлинг В.В.

Балл	Потребность растения в удобрениях		
	азотных	фосфорных	калийных
0	Очень сильная	Очень сильная	Очень сильная
1	Сильно нуждается	Сильно нуждается	Сильно нуждается
2	Нуждается	Нуждается	Нуждается
3	Средне нуждается	Средне нуждается	Средне нуждается
4	Слабо нуждается	Слабо нуждается или не нуждается	Слабо нуждается
5	Не нуждается, достаточное количество нитратов	Не нуждается	Не нуждается
6	Не нуждается, избыток нитратов	-	-

Качественная оценка потребности растений может быть переведена в количественные показатели в мг/кг на сырое вещество (табл. 11), а также в % сырого вещества. В последнем случае установленную величину в мг/кг надо разделить на 10000. Например, при содержании нитратного азота 67 мг/кг сырого вещества его концентрация будет равняться $67 : 10000 = 0,0067\%$.

Для составления диагностического заключения данные анализа сравнивают с оптимальными значениями содержания элементов питания, характеризующих степень обеспеченности растений элементами питания по данным этого метода. Необходимые данные по зерновым культурам для урожаев с 4,5-5,0 т с га представлены в табл. 12. Они получены при анализе на срезах в нижних узлах стеблей. Если анализируются другие органы, то необходимо использовать оптимальные значения содержания питательных веществ в этих органах.

Таблица 11

**Содержание нитратов, фосфатов и калия в баллах по шкале Церлинг В.В.
и в мг/кг на сырое вещество**

Балл	Соединения, мг/кг		
	нитратный азот (N)	неорганические фосфаты (P ₂ O ₅)	калий (K ₂ O)
Следы	0 - следы	86,5±3,0	0 - следы
1	0 - 28±6,1	121±7,0	1300±350
2	67±3,6	174±13,7	2400±120
3	151±6,1	225±24,5	3300±180
4	174±7,2	415±43,5	3700±130
5	221±4,8	692,5±50,4	5400±230
6	710 и > ±9,4	Нет баллов в шкале	Нет баллов в шкале

Тема 16. ЛИСТОВАЯ ДИАГНОСТИКА

Листовая диагностика основана на определении общего содержания элементов питания в растениях или листьях. Выявление общего содержания элементов питания целесообразно в поздние фазы развития зерновых культур. В это время контроль условий азотного питания по содержанию нитратов в растениях затрудняется, поскольку нитраты полностью (или почти полностью) восстанавливаются и не обнаруживаются при анализе растений.

В ранние фазы развития различия между химическим составом всей надземной массы и составом листьев очень незначительны. Поэтому для анализа на общее содержание питательных веществ в период кущения (у растений образовано три листа) и начала выхода в трубку (у растений развивается пятый лист) используют листья или всю надземную часть. В фазу кущения анализируют все зеленые листья, а в начале фазы выхода растений в трубку – третий и четвертый листья, считая снизу (табл. 12).

Таблица 12

Оптимальное содержание нитратов, фосфора и калия в нижних узлах стеблей хлебных злаков (баллы шкалы Церлинг В.В. и % от сырого вещества)

Культура	Фаза развития	Нитраты (N-NO ₃)		Фосфор (P ₂ O ₅)		Калий (K ₂ O)	
		балл	%	балл	%	балл	%
Пшеница яровая	Кущение	>6	>0,071	5	0,069	>5	>0,54
	Трубкавание	4-6	0,017-0,071	4	0,042	5	0,54
	Начало колосения	2	0,0067	3,5	0,033	5	0,54
	Цветение	0	0	2,5	0,022	4-5	0,37-0,54
Пшеница озимая	Кущение	>6	>0,71	5	0,069	5	0,54
	Трубкавание	5-6	0,022-0,071	3,5	0,033	4	0,37
	Начало колосения	3	0,015	2,5	0,020	4	0,37
	Цветение	0	0	3	0,017	4	0,37
Рожь озимая	Кущение	6	>0,71	5	0,069	5	0,54
	Трубкавание	5	0,022	3,5	0,033	4	0,37
	Начало колосения	4	0,017	2,5	0,020	4	0,37
	Цветение	0	0	2	0,017	4	0,37
Овес	Кущение	>6	>0,071	>5	>0,069	>5	>0,54
	Трубкавание	4-6	0,017-0,071	5	0,069	5	0,54
	Начало колосения	2-3	0,0067-0,015	5	0,069	5	0,54
	Цветение	0	0	4	0,042	4	0,37
Ячмень	Кущение	>6	>0,071	5	0,69	>5	>0,54
	Трубкавание	4-6	0,017-0,07	4	0,042	5	0,54
	Начало колосения	2	0,0067	4	0,042	5	0,54

	Цветение	0	0	3-4	0,022-0,042	4	0,37
--	----------	---	---	-----	-------------	---	------

По мере развития растений между разновозрастными частями зерновых культур происходит особенно активное перераспределение питательных веществ. В результате различные органы неодинаково отражают уровень минерального питания. Поэтому для анализов отбирают зеленые, активно функционирующие листья: в конце фазы выхода растений в трубку (у растения образовано шесть листьев) – пятый лист, считая снизу, а в период колошения и цветения – первый и второй листья сверху у соцветия (счет листьев снизу в это время из-за засыхания и отмирания вести трудно). Анализы выполняют в агрохимических лабораториях. Полученные данные сравнивают с оптимальными уровнями содержания питательных веществ, характеризующих обеспеченность возделываемой культуры элементами питания (табл. 12).

Таблица 13

**Оптимальное содержание нитратов, фосфора и калия в картофеле и овощных растениях
(баллы шкалы Церлинг В.В. и % от сырого вещества)**

Культура	Фаза развития, месяц	Исследуемый орган растения	Нитраты (N-NO ₃)		Фосфор (P ₂ O ₅)		Калий (K ₂ O)	
			балл	%	балл	%	балл	%
Картофель	6-7 листьев	Край пластинки нижних и средних листьев	4-5	0,017-0,022	2,5	0,020	3	0,33
	Бутонизация, начало цветения	Край пластинки нижних листьев	4-4,5	0,017-0,020	-	-	-	-
		Черешки средних и верхних листьев	6	0,071	4	0,042	5	0,54
	Начало образования клубней	Черешки средних листьев	6	0,022-0,071	2-2,5	0,017-0,02	4-5	0,37-0,54
Свекла-столовая	4-5 листьев	Черешки взрослых листьев	5-6,5	0,022-0,071	4-5	0,042-0,069	5	0,54
	9-10 листьев	Черешки взрослых листьев	5	0,022	4-5	0,042-0,069	5	0,54
	Рост корнеплода	»	4-5	0,017-0,022	4	0,042	5	0,54
Морковь	3-4 листа	Пластинки зачаточного листа	3,5-4	0,016-0,017	-	-	-	-
		Черешки взрослого листа	6	0,71	4-5	0,042-0,069	5	0,54
	Пучковый товар	Пластинка зачаточного листа	2-3	0,007-0,015	-	-	-	-
		Черешки взрослого листа	6	0,71	3-4	0,022-0,042	5	0,54
	Сентябрь	»	5	0,022	3	0,022	4-5	0,37-0,54
Капуста	До завязывания кочана	Главная жилка и черешок взрослых листьев	6	0,071	3,5	0,033	4	0,37
	Образование кочана	»	4	0,017	3	0,022	3,5-4	0,35-0,37
Огурцы	4 листа	Край нижнего листа	3-4	0,015-0,017	3-4	0,022-0,042	3	0,33
		Черешок нижнего листа	6	0,071	3,5	0,033	4-5	0,37-0,54
	Начало цветения	Черешок среднего листа	6	0,071	4,5	0,055	4,5	0,46
	Начало плодоношения	»	5-6	0,022-0,071	4	0,042	3,5	0,35
Томаты	Июнь	5-й лист сверху	6	0,071	3	0,022	-	-
	Июль	»	4,5	0,020	3	0,022	-	-
	Август	»	3,5	0,016	2,5	0,020	-	-

При этом группам обеспеченности соответствует определенная урожайность. За 100% принята урожайность 4,5-5,0 т с га:

I группе соответствует урожайность <25% оптимальной, то есть менее 1,12-1,15 т с га;

II группе – < 40%, или 1,8-2,0 т с га;

III группе – 40-70%, или 1,8-3,85 т с га;

IV группе – <100%, то есть менее 4,5-5,0 т с га;

V группе – 100%;

VI группе – 100% и более, что соответствует 4,5-5,0 и более т с га.

Оптимальное содержание питательных веществ для картофеля и некоторых овощных культур приведены в табл. 13, при урожайности картофеля – 20-30 т с га, свеклы – 30-40 т с га, овощей – 18-30 т с га.

Тема 17. МЕТОД ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Метод, разработанный А.С. Плешковым и Б.А.Ягодиным, позволяет оценить не содержание элемента, а потребность растения в нем. Основывается он на измерении фотохимической активности суспензии хлоропластов средней пробы листьев с помощью прибора – спектрофотометра. Для сравнения используют контроль (без добавления элемента) и опытные пробирки с добавлением отдельных элементов (N, P, K, Ca, Mg, B, Mo и др.).

Среда для выделения хлоропластов – 2 г хлористого натрия на 100 мл воды. Среда для проведения реакции – 2 г хлористого натрия на 1000 мл воды. Краситель – 2,6-дихлорфенолиндофенол – 12 мл на 100 мл.

Растворы солей диагностируемых элементов:

- NH_4NO_3 , KH_2PO_4 , K_2SO_4 , KNO_3 в концентрации 10^{-3} М;
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, MgSO_4 в концентрации 10^{-4} М;
- соли Co, Mn в концентрации 10^{-6} М;
- соли Cu, Mn, B, Zn, Fe в концентрации 10^{-5} М.

В контрольные пробирки для определения фотохимической активности без элементов питания наливают 10 мл среды выделения для проведения анализа. В опытные – 9 мл среды и 1 мл тестируемого элемента (4-кратная повторность).

Среднюю пробу листьев растирают со средой для выделения сока (соотношение примерно 1:10), добавив в ступку на кончике шпателя CaCO_3 для стабилизации хлоропластов. Суспензию фильтруют через 2 слоя ткани или 4 слоя марли в пробирку, оклеенную черной фотобумагой. Через 5 минут приступают к анализу: 0,2–0,5 мл суспензии хлоропластов наливают в контрольную пробирку, добавляют 1–2 мл 2,6-дихлорфенолиндофенола, перемешивают и измеряют плотность на спектрофотометре при 620 нм, затем 30–60 секунд освещают кювету проектором и вторично измеряют плотность.

Увеличение разности оптической плотности по отношению к контрольной говорит об усилении фотосинтеза и недостатке элемента, уменьшение – об ослаблении активности хлоропластов и избытке элемента, одинаковая разность – об оптимальной концентрации. Заключение выдается в виде рекомендации по увеличению или уменьшению фактически применяемой дозы элемента в процентах.

Тема 18. ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ

Экспресс–методы контроля за питанием растений получают все большее развитие в связи с расширением производства и конструктивного совершенствования приборов, предназначенных для проведения анализов.

К экспресс–методам относятся ионометрические методы с использованием ионоселективных электродов, что дает возможность определить в почвах и растениях содержание нитратного и аммонийного азота, хлоридов, калия, кальция.

Измерительная система включает индикаторный ионоселективный электрод, электрод сравнения и регистрирующий прибор. Концентрацию определяемого иона в исследуемом материале устанавливают по величине разности потенциалов между электродом сравнения, потенциал которого имеет постоянную величину и ионоселективным электродом, потенциал которого зависит от концентрации определяемого иона.

Ионометрические измерения можно проводить в фильтратах и суспензиях (без предварительного фильтрования). Это значительно упрощает и ускоряет проведение анализа.

Использование экспресс – методов повышает оперативность диагностики и производительность аналитических работ. Результаты, получаемые с помощью ионоселективных электродов, имеют вполне удовлетворительную точность.

Промышленность выпускает портативный «Нитратомер НМ-002» для экспресс–анализа концентрации азота нитратов в почвах и растениях путем прямого потенциометрического измерения активности однозарядных анионов NO_3 с помощью электродной ионоселективной системы.

Выпускается также переносная лаборатория «Диагностика», которая предназначена для определения в сырых растительных и почвенных образцах содержания N-NO_3 , Ca , K и кислотности почвы. Определение проводится ионометрическим методом с помощью иономера и ионоселективных электродов.

Таблица 14

Уровни содержания азота, фосфора и калия в листьях хлебных злаков, % на сухое вещество

Обеспеченность элементами питания		Фаза развития	N	P_2O_5	K_2O
группа	степень				
1	2	3	4	5	6
Озимая пшеница					
I	Очень низкая	Кущение	<2,6	<0,26	<1,8
		Трубкавание	<2,1	<0,18	<1,4
		Цветение	<1,7	<0,13	<1,0
II	Низкая	Кущение	2,6-3,1	0,26-0,31	1,8-2,3
		Трубкавание	2,1-2,7	0,18-0,23	1,4-1,7
		Цветение	1,7-2,1	0,13-0,16	1,0-1,3
III	Средняя	Кущение	3,2-4,2	0,32-0,37	2,4-2,8
		Трубкавание	2,8-3,4	0,24-0,28	1,8-2,3
		Цветение	2,2-2,7	0,17-0,21	1,4-1,9
IV	Ниже оптимума	Кущение	4,3-4,8	0,38-0,43	2,9-3,4

	льной	Трубкование Цветение	3,5-3,8 2,8-3,0	0,29-0,33 0,22-0,27	2,4-2,7 2,0-2,3
I	2	3	4	5	6
V	Оптимальная	Кущение Трубкование Цветение	4,9-5,5 3,9-4,5 3,1-3,5	0,44-0,49 0,34-0,39 0,28-0,34	3,5-4,2 2,8-3,4 2,4-2,8
VI	Выше оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	>5,5 >4,5 >3,5	>0,49 >0,30 >0,34	>4,2 >3,4 >2,8
Озимая рожь					
I	Очень низкая	Кущение Трубкование Цветение	<2,2 <1,8 <1,4	<0,29 <0,23 <0,18	<2,1 <1,8 <1,2
II	Низкая	Кущение Трубкование Цветение	2,2-2,6 1,8-2,3 1,4-1,6	0,29-0,34 0,23-0,28 0,18-0,19	2,1-2,7 1,8-2,1 2,8-3,7
III	Средняя	Кущение Трубкование Цветение	2,7-3,4 2,4-3,0 1,5-1,9	0,29-0,34 0,20-0,23 0,44-0,50	2,8-3,7 2,2-2,7 1,4-1,7
IV	Ниже оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	3,5-3,8 3,1-3,6 2,0-2,1	0,44-0,50 0,35-0,38 0,24-0,26	3,8-4,4 2,8-3,0 1,8-1,9
V	Оптимальная	Кущение Трубкование Цветение	3,9-4,9 3,7-4,1 2,2-3,0	0,51-0,59 0,39-0,43 0,27-0,30	4,5-5,0 3,1-3,5 2,0-2,6
VI	Выше оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	>4,9 >4,1 >3,0	>0,59 >0,43 >0,30	>5,0 >3,5 >2,6
Яровая пшеница					
I	Очень низкая	Кущение Трубкование Цветение	<2,4 <2,2 <1,8	<0,25 <0,21 <0,17	<1,9 <1,7 <1,2
II	Низкая	Кущение Трубкование Цветение	2,4-3,0 2,2-2,5 1,8-2,0	0,25-0,28 0,21-0,23 0,17-0,18	1,9-2,2 1,7-2,0 1,2-1,5
III	Средняя	Кущение Трубкование Цветение	3,1-3,8 2,6-3,0 2,1-2,4	0,29-0,31 0,24-0,28 0,19-0,22	2,3-2,8 2,1-2,6 1,6-2,0
IV	Ниже оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	3,9-4,2 3,1-3,5 2,4-2,6	0,32-0,34 0,29-0,31 0,23-0,24	2,9-3,3 2,7-3,0 2,1-2,2
V	Оптимальная	Кущение Трубкование Цветение	4,3-5,2 3,6-4,4 2,7-3,0	0,35-0,49 0,32-0,40 0,25-0,34	3,4-4,2 3,1-3,6 2,3-3,2
Окончание					
I	2	3	4	5	6
VI	Выше оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	>5,2 >4,4 >3,0	>0,49 >0,4 >0,34	>4,2 >3,6 >3,2
Овес					
I	Очень низкая	Кущение Трубкование Цветение	<2,8 <1,9 <1,1	<0,35 <0,30 <0,23	<2,6 <2,2 <1,5
II	Низкая	Кущение Трубкование Цветение	2,8-3,5 1,9-2,3 1,1-1,4	0,35-0,45 0,30-0,36 0,24	2,6-3,4 2,2-2,6 1,5-1,8
III	Средняя	Кущение Трубкование Цветение	3,6-4,3 2,4-3,1 1,5-1,9	0,46-0,55 0,37-0,44 0,25	3,5-4,2 2,7-3,0 1,9-2,2
IV	Ниже оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	4,4-5,0 3,2-3,5 2,0-2,2	0,56-0,64 0,45-0,49 0,26-0,29	4,9-4,9 3,1-3,2 2,3
V	Оптимальная	Кущение Трубкование Цветение	5,1-5,9 3,6-4,4 2,3-2,9	0,65-0,78 0,50-0,62 0,30-0,42	5,0-5,7 3,3-4,1 2,4-2,9

VI	Выше оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	>5,9 >4,4 >2,9	>0,78 >0,62 >0,42	>5,7 >4,1 >2,9
Ячмень					
I	Очень низкая	Кущение Трубкование Цветение	<2,5 <2,3 <1,7	<0,31 <0,28 <0,19	<1,9 <1,7 <1,2
II	Низкая	Кущение Трубкование Цветение	2,5-3,1 2,3-2,8 1,7-2,0	0,31-0,35 0,28-0,32 0,19-0,22	1,9-2,4 1,7-2,2 1,2-1,5
III	Средняя	Кущение Трубкование Цветение	3,2-3,9 2,9-3,6 2,1-2,6	0,36-0,44 0,33-0,37 0,23-0,27	2,5-3,4 2,2-3,0 1,6-2,0
IV	Ниже оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	4,0-4,6 3,7-4,4 2,7-2,8	0,45-0,49 0,38-0,41 0,28-0,30	3,5-4,1 3,1-3,4 2,1-2,2
V	Оптимальная	Кущение Трубкование Цветение	4,7-5,1 4,5-4,7 2,9-3,5	0,50-0,68 0,42-0,48 0,31-0,42	4,2-4,7 3,5-4,1 2,3-2,8
VI	Выше оптимальной	Кущение Трубкование Цветение	>5,1 >4,7 >3,5	>0,68 >0,48 >0,42	>4,7 >4,1 >2,8

Методические указания по проведению анализов ионоселективными методами разрабатываются ЦИНАО.

В современных экспресс – лабораториях применяют потенциометрический метод определения нитратов (с ионселективным электродом). Выпускается также индикаторная бумага ИНДАМ для определения обеспеченности растений азотом. При нанесении капли сока или приложении среза индикаторного органа растений бумага приобретает розовую окраску, интенсивность которой пропорциональна содержанию нитратов.

Использование результатов химической диагностики заключается в расчете дозы удобрения. Для этой цели применяют формулу:

$$D = D_1 \times \frac{C_{\text{опт}}}{C_{\text{факт}}},$$

где D – доза удобрения, уточняемая по результатам растительной диагностики, кг/га д.в.;

D_1 – минимальная или средняя доза удобрения, применяемая в хозяйстве, кг/га д.в.;

$C_{\text{опт}}$ – оптимальное содержание элемента питания в растениях, % или мг/кг;

$C_{\text{факт}}$ – фактическое содержание элемента питания, % или мг/кг.

Практически при интенсивных технологиях корректировка питания растений по результатам тканевой и листовой диагностики заключается в установлении дозы азотной подкормки.

Пример расчета.

Определяется доза азотной подкормки озимой пшеницы.

I. Ткапневая диагностика в фазу кущения.

Исходные данные: $C_{\text{опт}} = 0,071\%$, $C_{\text{факт}} = 0,05\%$, $D_1 = 30$ кг/га N.

$$D = 30 \times \frac{0,071}{0,05} = 43 \text{ кг/га}$$

II. Листовая диагностика в фазу выхода растений в трубку.

Исходные данные: $C_{\text{опт}} = 4,5\%$, $C_{\text{факт}} = 3,2\%$, $D_1 = 45$ кг/га N.

$$D = 45 \times \frac{4,5}{3,2} = 62 \text{ кг/га}$$

В настоящее время фирма ООО НПО «Компас» предлагает разработанную Российскими учеными портативную лабораторию функциональной диагностики «Аквадонис». Эта лаборатория предназначена для анализа по листовой поверхности. Портативный фотометр «Аквадонис» используется для измерения изменений фотохимической активности суспензии хлоропластов.

Возможности прибора позволяют в автоматическом режиме строить график или таблицу обеспеченности элементами питания испытуемых растений и наглядно демонстрировать оптимум, недостаток или избыток по каждому из определяемых элементов питания.

Тема 19. ОПТИМИЗАЦИЯ СООТНОШЕНИЯ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Оптимизация соотношения питательных веществ в растениях является важным условием формирования высокого урожая. Как показали исследования Д.Н. Прянишникова, Д.А. Сабина, З.И. Журбицкого и др., высокопродуктивное развитие растений обеспечивается только при гармоничном, сбалансированном сочетании необходимых растению питательных веществ, как имеющихся в почве, так и в составе вносимых удобрений. При неуравновешенном питании растений снижается эффективность удобрений, урожайность возделываемой культуры бывает ниже запланированной, а качество продукции может ухудшиться.

В связи с этим результаты растительной диагностики необходимо оценивать по содержанию нескольких элементов питания. Если содержание какого-либо элемента в растении значительно отклоняется от оптимального, то дозу азотной подкормки следует скорректировать:

по содержанию фосфора, формула:

$$D = D_1 \times \frac{C_{\text{опт}}N \times C_{\text{факт}}P}{C_{\text{факт}}N \times C_{\text{опт}}P},$$

по содержанию калия, формула:

$$D = D_1 \times \frac{C_{\text{опт}}N \times C_{\text{факт}}K}{C_{\text{факт}}N \times C_{\text{опт}}K},$$

где $C_{\text{опт}}N$, $C_{\text{опт}}P$ и $C_{\text{опт}}K$ – оптимальное содержание азота, фосфора или калия в растении соответственно;

$C_{\text{факт}}N$, $C_{\text{факт}}P$ и $C_{\text{факт}}K$ – фактическое содержание азота, фосфора или калия в растении соответственно.

Пример расчета.

Уточняется доза азотной подкормки озимой пшеницы при недостаточном содержании азота и избыточном содержании фосфора в растениях.

Исходные данные: $C_{\text{опт}}N = 4,5\%$, $C_{\text{опт}}P = 0,39\%$, $C_{\text{факт}}N = 3,2\%$, $C_{\text{факт}}P = 0,42\%$, $D_1 = 45$ кг/га.

$$D = \frac{45 \times 4,5 \times 0,42}{3,2 \times 0,39} = 68 \text{ кг/га}$$

В заключение следует отметить, что по данным научных учреждений производственная проверка приведенных способов корректировки доз удоб-

рений, применяемых в хозяйстве, дала положительные результаты. На полях, где дозы удобрений уточнялись по данным растительной диагностики, химический состав растений поддерживался на оптимальном уровне, что обеспечило формирование высокого урожая. На посевах, где питание растений контролировалось только анализом почвы, содержание питательных веществ в растениях отклонялось от оптимального, что сопровождалось снижением урожая на 15-20%.

Тема 20. ОТБОР РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Отбор проб растений при тканевой и листовой диагностике

Лучшее время отбора – 8–9 часов утра. В более поздние часы могут быть получены менее достоверные результаты, так как усиливается солнечная активность, а это способствует активному передвижению нитратов до нижних горизонтов почвы в верхние и потреблению их растениями. Не отбирают пробы растений во время росы или дождя. После выпадения атмосферных осадков должно пройти 2–3 дня.

У *озимых зерновых культур* растения отбирают с участка не менее 30 га при их выровненном развитии и с 10 га – при невыровненном. Для тканевой диагностики берут 70–100 растений с участка, из них 20 типичных – на анализ. Для листовой диагностики масса образца – 1 кг.

Диагностику проводят в фазу кущения (три листа), выхода в трубку (четыре листа, разворачивается пятый), берут все листья или всю наземную часть растений, а в фазы колошения – цветения – второй-третий лист сверху от соцветия. У других культур отбор проводится в следующие фазы развития растений (табл. 15):

Таблица 15

Сроки отбора растительных образцов

Культура	Фаза развития	Орган растений, отбираемый на анализ
Яровые зерновые	Кущение	Надземная часть
Рапс	2–3, 6–8 листьев, начало ветвления	Надземная часть
Картофель	Всходы	2-й, 3-й лист, считая сверху
Кукуруза	3–5 листьев	Надземная часть, листья

У *овощных культур* всю площадь производственного посева делят на несколько участков, в зависимости от состояния растений. Затем с каждого участка по двум диагоналям выдергивают растения вместе с корнями. При выравненности растений – 25 штук, при большой пестроте – 30 штук с 1 га.

У *томатов и огурцов* образцы отбирают в фазу 5-го настоящего листа, до образования мелких зеленых бутонов; у *ранней и поздней капусты* – в фазу розетки; у *свеклы, моркови и других корнеплодов* – в фазу 4 настоящих листьев.

В стеблях растений и черешках листьев в указанные фазы развития находится больше всего минеральных форм азота, фосфора и калия, не использованных на синтез органических соединений. Выявленный в этот период недостаток элементов питания может быть устранен проведением соответствующих подкормок.

Для диагностических целей, составления прогноза ожидаемого урожая и его качества растения можно отбирать и в более поздние сроки (табл. 16).

Таблица 16

Поздние сроки отбора сельскохозяйственных культур

Культура	Фаза отбора
Ячмень	Выход в трубку
Озимый рапс	Ветвление, бутонизация, цветение
Картофель	6–7-й лист, до бутонизации, бутонизация, цветение (4–5-й лист сверху на главном стебле)
Кукуруза	6–10 листьев
Огурцы	Образование мелких зеленых бутонов, цветение
Томаты	Образование 1–2-й и 4–5-й кисти
Капуста	Начало завязывания и массовое завязывание кочанов
Корнеплоды	6–8 и 10–12 листьев

При проведении листовой диагностики для выявления предполагаемого дефицита азота, фосфора, калия, магния берут нижние листья, а при возможном дефиците кальция, серы, железа и микроэлементов – верхние.

Для проведения тканевой экспресс-диагностики готовят тонкие срезы нижней части стебля или небольшие участки черешков. Можно также использовать части центральных жилок листьев. Растения отбирают в ранние фазы развития (до цветения). Когда недостаток питания еще может быть устранен.

У озимых зерновых вырезают тонкую пластинку стебля: в фазу кущения – над узлом кущения, в фазу выхода в трубку – 1–1,5 см выше второго междоузлия, в период колошения – цветения – часть 2–3-го листа, считая сверху от соцветия.

В более поздние фазы развития у взрослых растений содержание элементов питания уменьшается, а такие соединения, как нитраты, к фазе цветения практически исчезают даже у хорошо обеспеченных растений.

Тканевая экспресс-диагностика проводится с помощью портативных переносных приборов: лаборатории «Тканевая диагностика», прибора ОП-2 Церлинг, полевой переносной экспресс-лаборатории. Лаборатория «Тканевая диагностика» представляет собой трехстворчатый чемодан, одна из створок которого используется как предметный стол. В нее входит набор химических реактивов, бритва, бумажные фильтры, баллон для дистиллированной воды, предметные стекла, пестик, цветные шкалы, технические весы, микрокалькулятор, инструкции. Аналогичная комплектация (без весов и калькулятора) у прибора ОП-2 Церлинг В.В., где все помещено в фанерный сундучок с ручкой. В полевой переносной лаборатории растворы химических реактивов во флаконах, предметные стекла, бритвы, фильтры и инструкция помещены в полиэтиленовую баночку с крышкой.

Оценка результатов тканевой диагностики

Показатель		Балл		
		1	2	3
Средний балл по участку		до 2	2,1-2,9	более 2,9
Уровень обеспеченности		Низкий	Средний	Высокий
Характер окрасивания среза, сока	Азот	Не синий	Светло-синий	Темно-синий
	Фосфор	Не синий	Светло-синий	Темно-синий
	Калий	Соломенно-желтый	Оранжевый	Красно-суриковый
Потребность растений в удобрениях		Сильная	Средняя	Не нуждаются
Доза, кг д.в.	Азот	60	30	-
	Фосфор	60	30	-
	Калий	60	30	-

Для определения содержания нитратов приготавливают 1%-ный раствор дифениламина, а фосфатов – растворы 5%-ного молибденово-кислого аммония, 0,1%-ного бензидина и насыщенный раствор уксуснокислого натрия. Наличие K_2O в растениях определяют с помощью 5%-ного раствора дипикриламиноват магния, двуноормального раствора соляной кислоты.

Определение нитратов проводят следующим образом: на предметное стекло кладут кусочки стеблей, черешков или части листа с центральной жилкой с промежутками 1–2 см. Затем раздавливают их стеклянным пестиком и наносят по одной капле дифениламина, следя за появлением или отсутствием синей окраски. Полученные результаты сравнивают с цветной шкалой и записывают в баллах, затем выводят средний балл по участку.

Например, на срезах части стеблей озимой пшеницы, отобранной в фазу кушения, после нанесения дифениламина отмечалась: на пяти стеблях – бледно-голубая быстро исчезающая окраска раствора и коричневатое обугливание частей растений (1 балл); на других пяти стеблях – светло-синяя окраска (2 балла); на следующих десяти стеблях – устойчивая темно-синяя окраска (3 балла). Общая сумма баллов на 20 срезах составит $5 \times 1 + 5 \times 2 + 10 \times 3 = 45$ баллов.

Средний балл поля – $45 : 20 = 2,3$, что оценивается как средний уровень обеспеченности растений азотом, при котором требуется подкормка 30 кг д.в. азотных удобрений на 1 га, или 87 кг физического веса аммиачной селитры.

Для определения фосфатов на предметное стекло раскладывают 20 кусочков фильтровальной бумаги размером примерно 1х1 см, в центр их капают по одной капле раствора молибденово-кислого аммония. После этого кладут кусочки стеблей, раздавливают их пестиком и сдвигают на край бумаги. Затем капают на след по одной капле бензидина и уксуснокислого натрия. Появившуюся окраску оценивают по шкале, как и в случае с определением нитратного азота.

Определение калия, как и фосфора, проводят на кусочках фильтровальной бумаги. Пестиком раздавливают разложенные на ней кусочки стеблей, отодвигают их и капают на бумагу по одной капле раствора дипикриламиата магния и соляной кислоты. Результат оценивают по шкале. Окраска может быть от соломенно-желтой до оранжевой и красно-суриковой.

При наличии калия в соке растений дипикриламиат образует с ним окрашенное соединение – от оранжевого (среднее содержание калия) до красно-сурикового (высокое содержание K_2O). Если калия в растении мало, то избыток дипикриламиата магния растворяется соляной кислотой, образуя соломенно-желтое окрашивание. Результаты оцениваются по таблице 17.

Тема 21. ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РАСТИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ

При составлении комплексного диагностического заключения сначала проводят:

- оценку погодных условий;
- технологии возделывания культуры;
- прогнозируют основные закономерности действия азотных удобрений;
- оценивают их возможную эффективность в сложившихся условиях.

Затем проводят оценку результатов растительной диагностики, сопоставление полученных данных с показателями оптимального химического состава растений, характеризуют сбалансированность питания основными элементами. Наконец, с учетом агрохимических свойств почвы и показателей ее азотного режима окончательно устанавливают потребность в проведении подкормок и их дозу.

Использование методов растительной диагностики позволяет оперативно оценить уровень обеспеченности сельскохозяйственных культур питательными элементами и принять возможные меры для устранения их недостатка. Важное практическое значение методы растительной диагностики имеют в овощеводстве, особенно в защищенном грунте (где возможна корректировка питания культур в течение вегетации проведением подкормок соответствующими видами удобрений), и в плодоводстве (для корректировки системы удобрения многолетних культур в последующие годы).

Один из элементов растительной диагностики – определение нитратов с помощью экспресс-методов – нашел широкое применение в системе контроля за качеством овощей, бахчевой продукции и кормов на предмет соответствия установленным предельно допустимым концентрациям по содержанию нитратов.

Применение растительной диагностики дает возможность выяснить действительную доступность для растений питательных веществ всего корнеобитаемого слоя почвы. Растительная диагностика позволяет учесть потребность растений в питательных элементах в период вегетации, выяснить особенности потребления растениями макро- и микроэлементов из почвы и вносимых удобрений; контролировать и регулировать необходимость подкормок и ориентировочные нормы питательных веществ; судить о правильности метода расчета доз удобрений на заданный урожай; уточнить систему удобрений в целом.

Список литературы

1. Ботаника / А.С. Родионова и др. – М.: Академия, 2006 – 283 с.
2. Демина М.И., Соловьев А.В., Чечеткина Н.В. Гербаризация растительного материала. – М.: РГАЗУ, 2009. – 52 с.
3. Демина М.И., Соловьев А.В., Чечеткина Н.В. Особенности структурообразования оболочки и мембран растительной клетки. – М.: РГАЗУ, 2009. – 24 с.
4. Каюмов М.К. Физиология и биохимия с.-х. растений. – М.: РГАЗУ, 2004. – 188 с.
5. Минеев В.Г. Агрохимия. – М.: КолосС, 2004. – 720 с.
6. Муравин Э.А. Агрохимия – М.: Колос С, 2004. – 384 с.
7. Михарев В.А. Агрохимическое обеспечение интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур. – М., 1989. – 122 с.
8. Панасин В.И., Новикова С.И. и др. Признаки недостатка элементов питания сельскохозяйственных культур. – Калининград, 2008. – 88 с.
9. Полевой В.В. Физиология растений. – М.: Высш. школа, 1989. – 464 с.
10. Серебрякова Т.И., Шорина К.И. и др. Ботаника с основами фитоценологии: анатомия и морфология растений. – М.: Академкнига, 2006. – 543 с.
11. Родман Л.С. Ботаника с основами географии растений. – М.: КолосС, 2006. – 397 с.
12. Хржаповский В.Г. Курс общей ботаники. – М.: Высшая школа, 1982, Ч. 1. – 384 с.
13. Ягодин Б.А. Агрохимия. – М.: Колос, 2002. – 583 с.
14. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 234 с.

Охраняется законом об авторском праве. Воспроизведение всего пособия или любой ее части, а также реализация тиража запрещается без письменного разрешения автора. Любые попытки нарушения закона будут преследоваться в судебном порядке.

Н.В. Чечеткина, М.И. Демина, А.В. Соловьев

**РАСТИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА ПИТАНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

Учебное пособие

Редактор *М.Ю. Молчанова*

Подписано в печать 14.05.10 Формат 60x84 1/16

Отпечатано на ризографе

Печ. л. 7,5 Уч.-изд. л. 6,28 Тираж 200 экз.

Заказ

Издательство ФГОУ ВПО РГАЗУ
143900, Балашиха 8 Московской области