

ТЕМА 8

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ

1. Физиологическая роль ЭМП.
2. Поглощение ЭМП растением. Взаимодействие ионов.
3. Транспорт ЭМП, перераспределение и реутилизация веществ в растении.
4. Влияние внутренних и внешних факторов на поглощение ЭМП.
5. Особенности азотного питания растений. Нитраты.
6. Принципы диагностики дефицита ЭМП.

Вопрос 1. Физиологическая роль элементов минерального питания

По необходимости для растения и содержанию ЭМП подразделяют на :

- ✓ Макроэлементы – от целых до десятых и сотых долей %: N, P, S, K, Ca, Mg;
- ✓ Микроэлементы – от тысячных до 100-тысячных долей %: Fe, Mn, Cu, Zn, B, Mo.
- ✓ Ультрамикроэлементы – Au, Ag, Pt, Pb.

Физиологическая роль МАКРОэлементов

АЗОТ

Содержание - около 1,5 % СМ.

Входит в состав белков, нуклеиновых к-т, витаминов, липопротеидов мембран, хлорофилла, и др.

Усвояемые **формы:** ионы нитрата (NO_3^-), аммония (NH_4^+), нитриты (NO_2^-), водорастворимые N-содержащие органические соединения (аминокислоты, амиды, полипептиды и др.).

Внешние признаки N-голодания:



- ✓ бледно-зеленая, желтая окраска листьев,
- ✓ оранжевые, красные тона,
- ✓ низкорослость,
- ✓ высыхание,
- ✓ некрозы,
- ✓ слабое кущение,
- ✓ признаки ксероморфизма.

ФОСФОР

Содержание - 0,2...1,2 % СМ.

Поглощается и функционирует в виде остатков ортофосфорной кислоты (PO_4^{3-}).

Входит в состав: нуклеотидов (АТФ, НАД, ФАД и др.), НК, фосфопротеидов, фосфолипидов, витаминов.

Внешние признаки Р-голодания



- ✓ мелкие узкие листья,
- ✓ сине-зеленая окраска с пурпурным или бронзовым оттенком (задержка синтеза белков и накопление сахаров),
- ✓ черная окраска старых листьев,
- ✓ корневая система слабо развивается, буреет, корневые волоски отмирают.

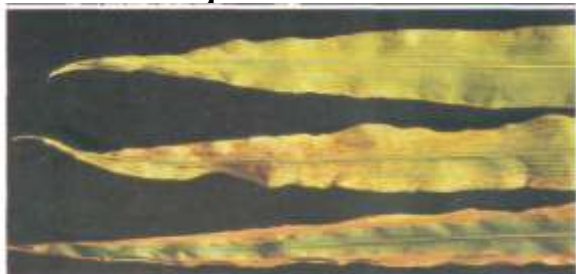
КАЛИЙ

Содержание - 1 % СМ.

Поглощается в виде катиона K^+ .

Калий не входит ни в одно органическое соединение. В клетках он присутствует в ионной форме и легкоподвижен. В наибольшем количестве калий сосредоточен в молодых растущих тканях, характеризующихся высоким уровнем обмена веществ составляет основную часть катионов клеточного сока.

Внешние признаки К-голодания



- ✓ Листья желтеют, затем становятся красно-фиолетовыми,
- ✓ Розеточные формы
- ✓ Слабо развиты механические и проводящие ткани
- ✓ Растения «обваренные».



Лист **ТОМАТА** с точечными некрозами вследствие **К-дефицита**.



Плоды **томата** с «зеленым воротником» вследствие **К-дефицита**;
слева: плоды с нормальной окраской.



Симптомы **К-дефицита** на листьях **КАРТОФЕЛЯ**



Влияние **К-дефицита** на качество клубней; содержание **К** в клубнях:
слева = 2,61%,
в центре = 1,87%
справа = 1,98%.



1 час после нарезки.
20 часов после нарезки клубней.

СЕРА

Содержание 0,2— 1,0 % сухой массы.

Поглощается в виде аниона SO_4^{2-}

Входит в состав: В органические соединения сера входит только в восстановленной форме — в составе сульфгидрильных групп ($-\text{SH}$) и дисульфидных связей ($-\text{S}-\text{S}-$); аминокислот — метионин, цистеин, цистин; кофермента А ($\text{CoA}-\text{SH}$); витаминов (тиамина, липоевой кислоты, биотина)

Внешние признаки S-голодания



- ✓ Подобны симптомам N-голодания
- ✓ Хлороз листьев (но молодых)
- ✓ Повреждение начинается с верхушки растений
- ✓ Желтеют жилки листьев, а паренхима остается зеленой
- ✓ Затем от основания листа появляются красноватые пятна мертвых тканей
- ✓ Торможение роста корневой системы

КАЛЬЦИЙ

Содержание 0,2 % сухой массы.

Поглощается в виде иона Ca^{2+} .

Входит в состав: в вакуоли откладывается в виде нерастворимых соединений щавелевой, лимонной и других кислот; в клеточной стенке; в митохондриях, хлоропластах и ядрах; в комплексах с биополимерами мембран; активирует ферменты

Внешние признаки Ca-голодания



- ✓ Ослизнение клеточных стенок
- ✓ Слабое развитие корневой системы
- ✓ Торможение фотосинтеза, растения отстают в росте
- ✓ Растения подвывают из-за нарушения работы устьиц
- ✓ Снижается устойчивость к неблагоприятным факторам среды
- ✓



Растение **ТОМАТА** с краевыми хлорозами и некрозами молодых листьев вследствие **Ca-дефицита**.



Лист томатного растения с коричневыми жилками вследствие **Ca-дефицита**.



Гниль плодов вследствие **Ca-дефицита**

МАГНИЙ

Содержание 0,2 % сухой массы.

Поглощается в виде иона Mg^{2+}

сравн-но подвижен

Входит в состав: анионов органических и неорганических кислот; 10—12 % магния входит в состав хлорофилла; является активатором ряда ферментов и транспорта электронов при фотофосфорилировании; Mg^{2+} необходим для формирования рибосом и полисом, для активации аминокислот и синтеза белков

Внешние признаки Mg-голодания



- ✓ хлороз и некроз листьев: жилки остаются зелеными, а ткань между ними желтеет, затем отмирает
- ✓ пожелтение начинается с нижних листьев
- ✓ при длит. голодании листья становятся белыми
- ✓ типично опадение взрослых листьев
- ✓ меньше образуется пестичных цветков, из-за усиления окислительных процессов
- ✓ задерживается цветение
- ✓ цветки менее интенсивно окрашены

Физиологическая роль МИКРОэлементов

МЕДЬ

Активирует ферменты (нитратредуктаза, протеазы).

Принимает участие в гормональной регуляции (в качестве кофермента).

Повышает устойчивость растений к полеганию и неблагоприятным условиям среды.

Недостаток меди вызывает:



- ✓ задержку роста и цветения;
- ✓ хлороз, завядание листьев;
- ✓ хлороз кончиков листьев и пустозерность у злаков;
- ✓ суховершинность у плодовых культур.

БОР

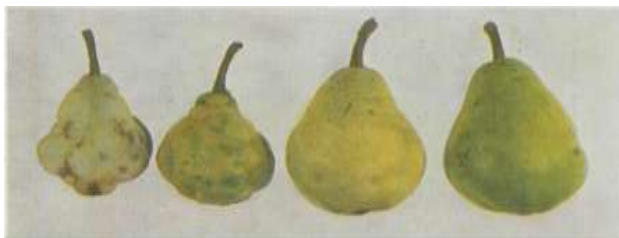
Поступает в растение в виде аниона борной кислоты.

Это один из наиболее важных микроэлементов, особенно для двудольных растений.

Недостаток бора вызывает:



- ✓ нарушаются ритм деления клеток и структура клеточных стенок,
- ✓ появляются уродливые изменения в формирующихся листьях конуса нарастания.
- ✓ На заключительной стадии борного голодания в клетке накапливаются токсичные хиноны, которые приводят к **отмиранию конусов нарастания**.
- ✓ На яблоках и грушах формируется «поверхностная пробковая ткань»



МОЛИБДЕН

Поступает в растение в виде аниона MoO_4^{2-} и концентрируется в молодых растущих частях

Играет важную роль в азотном обмене растений (кофермент нитратредуктазы, восстанавливающей нитраты)

Как металл-активатор необходим в реакциях аминирования.

Влияет на накопление аскорбиновой кислоты

Недостаток молибдена вызывает:



- ✓ рост растений тормозится.
- ✓ особенно чувствительны к недостатку Мо бобовые и овощные культуры
- ✓ хлороз старых листьев
- ✓ нарушается азотный и фосфорный обмен
- ✓ уменьшается синтез белка

ЖЕЛЕЗО

Входит в растения в количестве 0,02—0,08 %.

Поступает из почвы в виде Fe^{3+} .

Роль железа в большинстве случаев связана с его способностью к обратимым ок-восст. превращениям.

Входит в состав участников ЭТЦ

Кофермент ряда оксидаз (каталазы, пероксидазы) и ферментов, катализирующих синтез предшественников хлорофилла.

Недостаток железа вызывает:



- ✓ глубокий хлороз в развивающихся листьях, которые могут быть совершенно белыми,
- ✓ Замедление энергообмена растения — фотосинтез и дыхание.
- ✓ Опадают бутоны
- ✓ Уменьшаются междоузлия
- ✓ Отмирают точки роста
- ✓ Плохо формируется корневая система

МАРГАНЕЦ

Он поступает в растение в виде ионов Mn^{3+} . активизирует ферменты цикла Кребса, принимает участие в восстановлении нитратов до аммиака, в связи с чем растения, испытывающие недостаток марганца, не могут использовать нитраты в качестве источника азотного питания; необходим для нормального протекания фотосинтеза, он участвует в фотолизе воды (разложение воды и выделение кислорода), а также восстановления CO_2 . Марганец способствует оттоку сахаров из листьев

Недостаток марганца вызывает:



- ✓ Разрушается хлорофилл
- ✓ На листьях появляются бледно-желтые полосы
- ✓ У злаков листья сворачиваются
- ✓ Рост замедляется
- ✓ Ослабление дыхания

ЦИНК

Поступает в растение в виде иона Zn^{2+} ; входит в состав фермента карбоангидразы, катализирующей гидратацию CO_2 в H_2CO_3 . Этот фермент играет важную роль в поддержании запасов CO_2 для фотосинтеза. В качестве кофактора участвует в синтезе растительного гормона — ауксина (ИУК). Активатор ряда ферментов гликолиза и пентозофосфатного пути.

Недостаток цинка вызывает:

- ✓ резкое торможение роста и формирования побегов, растения приобретают розеточные формы
- ✓ На листьях вдоль жилок появляется светло-зеленая окраска, затем эта зона быстро увеличивается и появляются пятна отмерших тканей
- ✓ Разрушаются точки роста
- ✓ Иногда в листьях образуются антоцианы

1. Поглощение ЭМП растением. Взаимодействие ионов.

• **Закономерности поглощения веществ**

1) Питательный раствор должен быть физиологически уравновешенным и содержать все элементы в усвояемой форме

2) Раствор чистых солей – вреден (используют раствор смеси солей)

Физиологически уравновешенный раствор – раствор, количество и соотношение ионов в котором исключает их вредное влияние на растение (идеальный раствор – морская вода)

3) ЭМП поглощаются в ионной форме (катионы, анионы)

4) Растение поглощают ионы избирательно (состав клеточного сока и почвенного раствора различны)

- из разбавленных р-ров быстрее поглощаются соли

- из концентрированных – вода

- ионы солей и вода поглощ. независимо друг от друга

5) Существует ритмичность поглощения ионов: днем поглощение интенсивнее из-за притока ассимилятов к корням. Часы интенсивного поглощения сменяются часами замедленного поглощения.

6) ЭМП поступают в растение как по градиенту концентраций, так и против него (с затратой АТФ)

7) Катионы и анионы поступают в растение с разной скоростью:

- Соли, у которых активнее поглощаются катионы, и которые подкисляют почву, называются физиологически кислыми:

$(NH_4)_2SO_4$, KH_2PO_4 , KCl

- Соли, у которых активнее поглощаются анионы, и которые подщелачивают почву, называются физиологически щелочными:

$NaNO_3$

- Соли, у которых ионы поглощаются с одинаковой интенсивностью – физиологически нейтральные.

NH_4NO_3 , KNO_3

- **Особенности корневой системы растений:**

1 - имеет очень **большие размеры** и обладает исключительной способностью к ветвлению.

Общая поверхность корней обычно превышает поверхность надземных органов в 140—150 раз. Уже у однолетнего сеянца яблони формируется 5—7 порядков ветвления корней общей протяженностью 250 м, а с корневыми волосками около 3 км.

2 - **скорость роста очень велика**, что позволяет корням осваивать новые объемы почвы, иссушив пространства, непосредственно прилегающие к ним (1—10 см в сутки) (за день к.с. в сумме нарастает до 5 км) (меристемы составляют 10 % массы корня, в стебле только 1 %)

3 - к.с. обладает **хемотропизмом и положительным гидротропизмом**, т. е. способностью растущих частей изгибаться в сторону более влажных участков почвы и ЭМП.

4 – выполняет **буферную роль**, регулирует поступление веществ

5 – выполняет **синтетическую роль**



- ✓ **Зона деления** – поглощение слабое, все вещества используются здесь же (для себя)
- ✓ **Зона роста** – поглощение более интенсивное, но также все вещества используются «для себя»
- ✓ **Зона поглощения** – поглощение максимально интенсивное, обеспечивает потребность всего растения
- ✓ **Зона проведения** – осуществляет восходящий транспорт веществ в стебель

- **Взаимодействие ионов**

- _ антагонизм
- _ синергизм
- _ аддитивность

- **АНТАГОНИЗМ** – поступление одного иона препятствует поступлению другого.

Антагонизм ионов проявляется как между разными ионами одной валентности (Na^+ и K^+ , Na^+ и NH_4^+), так и между ионами разной валентности (K^+ и Ca^{2+} , Na^+ и Mg^{2+}).

чем выше валентность, тем больше антагонистическое действие иона

У анионов антагонизм ниже, чем у катионов

СИНЕРГИЗМ - действие одного иона усиливает действие другого.

Катионы K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} оказывают стимулирующее действие на поглощение анионов NO_3^- и PO_4^{3-}

АДДИТИВНОСТЬ - это действие смеси солевых растворов, которое равно сумме действия отдельных компонентов.

• **Пути превращения ЭМП в растениях:**

1. Уже в корнях взаимодействуют с органическими кислотами и включаются в состав органических соединений
2. Транспортируются по растению без изменений в виде катионов или анионов
3. Накапливаются в клеточном соке (запас)

2. Транспорт ЭМП, перераспределение и реутилизация веществ в растении.

Типы транспорта веществ в растении:

- Внутриклеточный – внутри одной клетки,
- Ближний (внутри органа),
- Дальний (между органами).

Внутриклеточный транспорт

Осуществляется в результате совместного действия циклозиса (круговое движение цитоплазмы) и диффузии.

У высших растений движение цитоплазмы происходит при участии сократительных белков. Скорость движения цитоплазмы 0,2-0,6 мм/мин.

Во внутриклеточном транспорте веществ принимают участие также каналы эндоплазматического ретикулума и везикулы аппарата Гольджи.

Ближний транспорт

- a) радиальный транспорт веществ в корнях и стеблях,
- b) передвижение веществ в мезофилле листьев.
 - Осуществляется по апопласту, симпласту и вакуому.
 - Небольшие расстояния, измеряемые мм.

Кора выполняет также функцию транспортного буфера, регулирующего ионный поток в корне. Буферная роль корня проявляется в существенном изменении содержания ЭМП в корне и относительном постоянстве их содержания в побеге при изменении условий питания.

Восходящий транспорт ионов в растении

Осуществляется преимущественно

по сосудам ксилемы.

Это - **массовый ток** растворенных веществ с водой, движимый транспирацией и корневым давлением.

В большем количестве ионы поступают в растущие части растения – точки роста, молодые листочки, формирующиеся плоды.

Стебель также выполняет буферную роль

- В клеточных стенках ксилемы имеются участки способные избирательно связывать катионы и тормозить их транспорт.
- Ионный поток по ксилеме активно регулируется и прилегающими живыми клетками. Если какого-то элемента в ксилемном соке слишком много, он извлекается из сосудов и в последующем возвращается при его недостатке в почве.
- Возможна диффузия элементов из ксилемы во флоэму – обратный транспорт

Радиальный транспорт ионов в листьях

В листьях транспорт по апопласту затруднен из-за сложной формы межклетников, поэтому основной путь ионов – **по симпласту**.

Кроме того, **листовая пластинка пронизана густой сетью жилок** (проводящие пучки)

Реутилизация – это повторное использование ЭМП в растении.

Реутилизации подвергается большинство ЭМП.

По способности к реутилизации различают ЭМП:

1) Хорошо ***реутилизируемые*** (**K, Mg, P, Cl, Mn, Zn, Mo**)

Наиболее подвижен **K**, он может проделывать ежедневно несколько круговоротов через ксилему и флоэму. Это объясняется его свободным состоянием (в виде иона K⁺).

2) Практически ***не реутилизируемые*** (**Ca, B**, оч. слабо – **Fe**) (малая лабильность и плохая растворимость соединений, в которые входят эти элементы).

3) Промежуточное положение по степени реутилизации занимают **Mg и S**.

Для хорошо реутилизируемых элементов характерно накопление в молодых органах. Для плохо реутилизируемых – в старых органах.

3. Влияние внутренних и внешних факторов на поглощение ЭМП.

Внутренние факторы:

- **Ускорение темпов роста** растений сопровождается усилением их поступления.
- **Быстрый рост корневой системы** оказывает прямое влияние на поглощение ЭМП благодаря освоению новых объемов почвы.
- Прочно установленным фактом является зависимость поглотительной деятельности от **дыхания корня** (чем интенсивнее дыхание, тем интенсивнее поглощение ЭМП)

Внешние факторы:

- **Интенсивность дыхания корней** зависит от содержания кислорода в почве (структурный состав, плотность, содержание влаги).
- Так как источником дыхательных субстратов служат **продукты фотосинтеза**, поступающие из надземных органов, на поглощение веществ корнями влияют освещенность, содержание углекислого газа в атмосфере, водообеспеченность, температура и другие факторы.
- **Структура почвы:**
- ✓ Аэрация – дыхание корней

- ✓ Влажность – растворимость ЭМП, рост
- ✓ Плотность почвы
- ✓ Структура почвы, ППК
- ✓ Концентрация ионов в почвенном растворе
- ✓ рН почвы– оптимальна рН 4-9

рН определяет *доступность ЭМП*:

рН меньше 5 – доступны Cu, Zn, Al, Fe, Mn - при рН больше 7 они недоступны

На кислых почвах происходит отравление закисными формами Al и Fe

рН меньше 5 – недоступны Ca, Mg, K, P, Mo

- **Температура:** влияет на: интенсивность дыхания корней, активность ферментов, интенсивность транспирации
- ✓ Минимальная – 0 оС
- ✓ Оптимальная – 40 оС
- ✓ Максимальная – 60 оС
- **Газовый состав** Поглощение ЭМП происходит при содержании кислорода в пределах 2-3 21 %.
- **Свет.** В темноте поглощение ЭМП снижается; на свету повышается интенсивность фотосинтеза
- **Вода.** Влияет на:
 - ✓ Транспирацию – ток ЭМП
 - ✓ Рост корней
 - ✓ При недостатке влаги клеточные стенки корня пропитываются суберином, снижается синтез АТФ
 - ✓ При избытке влаги в почве нарушается аэрация.

4. Особенности азотного питания растений. Нитраты.

Формы азота

- Атмосферный N
- Неорганический:
 - ионы нитрата (NO_3^-) и нитрита (NO_2^-);
 - ионы аммония (NH_4^+);
- Органический - N-содержащие водорастворимые органические соединения (аминокислоты, амиды, полипептиды и др.).

Источники азота в почве

- N-фиксация микроорганизмами (свободноживущими и симбиотическими);
- Отмершие ткани микроорганизмов, животных и растений (в т.ч. пожнивные растительные остатки);
- Органические удобрения (органический N почвы усваивается после его минерализации!)

С урожаем зерновые выносят около 100 кг/га азота при урожайности 40 ц/га !

- **Свободноживущие микроорганизмы** - бактерии родов *Azotobacter* и *Beijerinckia*; Цианобактерии (на затопляемых рисовых полях). Ежегодная фиксация N свободноживущими бактериями составляет 5...15 кг / га.

- **Симбиотические азотфиксаторы** - бактерии рода *Rhizobium* (на корнях бобовых растений); актиномицеты рода *Frankia* (на корнях некоторых деревьев и кустарников - облепихи, ольхи, лоха и др.). Ежегодная симбиотическая фиксация N составляет **100...400 кг /га**.

Особенности ассимиляции нитратного и аммонийного азота

- **Аммоний** после поглощения метаболизируется в корнях, превращаясь в N аминокислот и амидов;
- **Нитраты** или запасаются в вакуолях клеток корня, или восстанавливаются до аммония.
- **нитраты** лучше поглощаются в слабокислой среде (pH=5);
- **аммоний** лучше поглощается в нейтральной среде (pH=7) и при пониженной температуре.

Усвоение аммиака

Сразу же включается в соединения:

1. образование аминокислот
2. образование амидов
3. образование мочевины
4. образование аммонийных солей

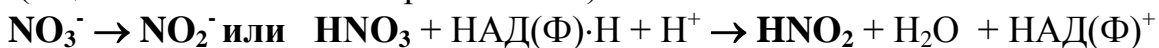
Восстановление нитратного азота

По способности восстанавливать нитраты в различных частях растения делят на 3 группы:

1. Растения, восстанавливающие нитраты **в корнях**: горох, люпин, черника, многие древесные.
2. Растения, восстанавливающие нитраты **в листьях**: сахарная свекла, хлопчатник, бурачник, дурнишник
3. Растения, способные восстанавливать нитраты **как в корнях, так и в листьях**: хлебные злаки, кукуруза, фасоль, сорго, овощные.

Этапы восстановления нитрата

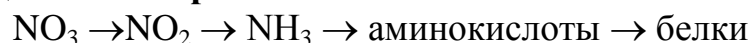
1-й этап: Восстановление нитрата до нитрита, катализируемое *нитратредуктазой* (в цитоплазме клеток корня и листа):



2-й этап: Восстановление нитрита до аммиака, катализируемое ферментом *нитритредуктазой*:



Схема ассимиляции азота в растении



НИТРАТЫ

Для растений нитраты **БЕЗВРЕДНЫ**, поэтому они стремятся максимально полно усваивать доступный азот

Действие нитратов на организм человека:

1. Нитраты всасываются в кровь и взаимодействуют с гемоглобином образуя **метгемоглобин** (не связывает кислород).

2. В организме образуются нитрозосоединения – яды

Максимальная суточная доза – 4 мг/кг

Для человека наиболее опасны не сами нитраты (NO_3^-), а нитриты (NO_2^-)

Накопление нитратов в растениях связано с действием фермента нитратредуктазы – её активность в 5-20 раз ниже, чем нитритредуктазы, следовательно после преобразования нитратов в нитриты

($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$) последние быстро восстанавливаются в растениях до аммиака,

($\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_3$), который включается в состав органических соединений

Условия накопления нитратов

1. Условия, неблагоприятные для фотосинтеза, низкая освещенность
2. Нарушение баланса между макро- и микроэлементами
3. Избыточное азотное питание
4. Поздние азотные подкормки
5. Ранние сроки уборки (до физиологической спелости)

Характер накопления нитратов

1. **Наследственные особенности культуры:** зерновые накапливают мало нитратов, овощные очень много.

Культуры, накапливающие наибольшее количество нитратов: капуста, свекла, редька, редис, шпинат, картофель

2. Сортовая специфичность

3. Особенности использования (что является товарной частью)

Различные органы накапливают разное количество нитратов:

Генеративные < вегетативные < корнеплоды, клубни (органы запаса)

Больше всего нитратов накапливается: в корне, черешках листьев, у основания листа, плода; в зелени (салат, лук). У томата меньше нитратов в семенных камерах

Меры по снижению накопления нитратов

1. Регулирование баланса между макро- и микроэлементами
2. Известкование (чем ниже кислотность, тем больше нитратов)
3. Регуляция температурного и светового режима
4. Оптимизация водного режима: чем выше влажность, тем больше нитратов (но, при засухе повышение влажности снижает содержание нитратов)
5. Дробное внесение азотных удобрений
6. Селекция сортов, мало накапливающих нитраты
7. Сроки и время уборки:
8. поздняя уборка картофеля – снижение содержания нитратов до 50-60 %
9. листовые (салат) лучше убирать вечером – содержание нитратов ниже на 30-40 %

5. Принципы диагностики дефицита ЭМП.

Причины недостатка или избытка ЭМП в почве

- недостаточное внесение удобрений или одностороннее их применение;
- свойства почвы, препятствующие поступлению ЭМП в растения;
- повышенная потребность интенсивных сортов в ЭМП;
- неравномерность поглощения ЭМП растениями на протяжении онтогенеза
- др.

Диагностика питания растений

- почвенная – проводится путем агрохимического анализа почвы и сопоставления полученных данных с установленными нормативами;
- растительная – индикатором являются растения (даёт более объективную информацию об обеспеченности растений минеральным питанием).

Методы растительной диагностики (по В.В.Церлинг)

1. **Визуальная диагностика** – определение нарушения питания по внешнему виду растений.
2. **Метод инъекции или опрыскивания** – используется главным образом для диагностики питания микроэлементами.
3. **Морфобиометрическая** диагностика по приросту массы, числу и размерам органов, величине и структуре урожая.
4. **Химическая** диагностика – химический анализ растений по фазам их развития (прибор Давтяна, сумка Магницкого).