

# РОЛЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ

Микроэлементами называют химические элементы, необходимые для нормальной жизнедеятельности растений и животных, и используемые растениями и животными в микро количествах по сравнению с основными компонентами питания. Однако биологическая роль микроэлементов велика. Всем без исключения растениям для построения ферментных систем - биокатализаторов - необходимы микроэлементы, среди которых наибольшее значение имеют железо, марганец, цинк, бор, молибден, кобальт и др. Ряд ученых называют их "элементами жизни", как бы подчеркивая, что при отсутствии указанных элементов жизнь растений и животных становится невозможной. Недостаток микроэлементов в почве не приводит к гибели растений, но является причиной снижения скорости и согласованности протекания процессов, ответственных за развитие организма. В конечном итоге растения не реализуют своих возможностей и дают низкий и не всегда качественный урожай [1].

Микроэлементы не могут быть заменены другими веществами и их недостаток обязательно должен быть восполнен с учетом формы, в которой они будут находиться в почве. Растения могут использовать микроэлементы только в водорастворимой форме (подвижной форме микроэлемента), а неподвижная форма может быть использована растением после протекания сложных биохимических процессов с участием гуминовых кислот почвы. В большинстве случаев эти процессы протекают очень медленно и при обильном поливе грунта значительная часть образующихся подвижных форм микроэлементов вымывается. Все микроэлементы жизни, кроме бора, входят в состав тех или иных ферментов. Бор не входит в состав ферментов, а локализуется в субстрате и участвует в перемещении сахаров через мембраны, благодаря образованию углеводно-боратного комплекса.

Главная роль микроэлементов в повышении качества и количества урожая заключается в следующем:

1. При наличии необходимого количества микроэлементов растения имеют возможность синтезировать полный спектр ферментов, которые позволят более интенсивно использовать энергию, воду и питание (N, P, K), а соответственно получить более высокий урожай.
2. Микроэлементы и ферменты на их основе усиливают восстановительную активность тканей и препятствуют заболеванию растений.
3. Микроэлементы являются одними из тех немногих веществ, которые повышают иммунитет растений. При их недостатке создается состояние физиологической депрессии и

общей восприимчивости растений к паразитным болезням.

Большинство микроэлементов являются активными катализаторами, ускоряющими целый ряд биохимических реакций. Микроэлементы своими замечательными свойствами в ничтожных количествах способны оказывать сильнейшее действие на ход жизненных процессов и очень напоминают ферменты. Совместное влияние микроэлементов значительно усиливает их каталитические свойства. В ряде случаев только композиции микроэлементов могут восстановить нормальное развитие растений или регенерировать гемоглобин при анемиях.

Однако сведение роли микроэлементов только к их каталитическому действию неверно. Микроэлементы оказывают большое влияние на биокolloиды и влияют на направленность биохимических процессов. Так марганец регулирует соотношение двух- и трехвалентного железа в клетке. Соотношение железо-марганец должно быть больше двух. Медь защищает от разрушения хлорофилл и способствует увеличению дозы азота и фосфора примерно в два раза. Бор и марганец повышают фотосинтез после подмораживания растений. Неблагоприятное соотношение азота, фосфора, калия может вызвать болезни растений, которое излечивается микроудобрениями.

Из анализа результатов отечественных и зарубежных специалистов по исследованию эффективности применения микроэлементов в сельском хозяйстве вытекает следующее:

1. Оптимальным является одновременное поступление макро и микроэлементов, особенно это касается фосфора и цинка, нитратного азота и молибдена.
2. В течение всего вегетационного периода растения испытывают потребность в основных микроэлементах, некоторые микроэлементы не реутилизируются, т. е. не используются повторно в растениях. Они не передвигаются из старых органов в более молодые.
3. Микроэлементы в биологически активной форме в настоящее время не имеют себе равных при внекорневых подкормках, которые особенно эффективны при опрыскивании макро и микроэлементами. Только при корневом питании растений наблюдается апронетальный градиент концентрации, особенно бора и цинка. Концентрация этих веществ в растении убывает снизу вверх.
4. Профилактические дозы биологически активных микроэлементов, вносимые независимо от состава почвы, не повлияют на общее содержание микроэлементов в почве, но окажут благополучное воздействие на состояние растений. Полностью будет исключено состояние физиологической депрессии, что приведет к повышению устойчивости растений к паразитным заболеваниям, а в целом это скажется на повышении количества и качества урожая.

## ЖЕЛЕЗО

Железо играет ведущую роль среди всех содержащихся в растениях тяжелых металлов. Об этом свидетельствует уже тот факт, что оно содержится в тканях растений в количествах более значительных, чем другие металлы. Так содержание железа в листьях достигает сотых долей процента, за ним следует марганец, концентрация цинка выражается уже в тысячных долях, а содержание меди не превышает десятитысячных процента [2].

Органические соединения, в состав которых входит железо, необходимы в биохимических процессах, происходящих при дыхании и фотосинтезе. Это объясняется очень высокой степенью их каталитических свойств. Неорганические соединения железа также способны катализировать многие биохимические реакции, а в соединении с органическими веществами каталитические свойства железа возрастают во много раз.

Каталитическое действие железа связано с его способностью менять степень окисления. Атом железа окисляется и восстанавливается сравнительно легко, поэтому соединения железа являются переносчиками электронов в биохимических процессах. В основе реакций, происходящих при дыхании растений лежит процесс переноса электронов. Процесс этот осуществляется ферментами - дегидрогеназами и цитохромами, содержащими железо.

Железу принадлежит особая функция - неперемное участие в биосинтезе хлорофилла. Поэтому любая причина, ограничивающая доступность железа для растений, приводит к тяжелым заболеваниям, в частности к хлорозу.

При нарушении и ослаблении фотосинтеза и дыхания вследствие недостаточного образования органических веществ, из которых строится организм растения, и дефицита органических резервов, происходит общее расстройство обмена веществ. Поэтому при остром недостатке железа неизбежно наступает гибель растений. У деревьев и кустарников зеленая окраска верхушечных листьев исчезает полностью, они становятся почти белыми, постепенно усыхают.

## МАРГАНЕЦ

Роль марганца в обмене веществ у растений сходна с функциями магния и железа. Марганец активизирует многочисленные ферменты, особенно при фосфорилировании. Поскольку марганец активизирует ферменты в растении, его недостаток сказывается на многих процессах обмена веществ, в частности на синтезе углеводов и протеинов [3].

Признаки дефицита марганца у растений чаще всего наблюдаются на карбонатных, сильноизвесткованных, а также на некоторых торфянистых и других почвах при pH выше 6,5.

Недостаток марганца становится заметным сначала на молодых листьях по более светлой зеленой окраске или по обесцвечиванию (хлорозу). В отличие от железистого хлороза у однодольных в нижней части пластинки листьев появляются серые, серо-зеленые или бурые, постепенно сливающиеся пятна, часто с более темным окаймлением. Признаки марганцевого голодания у двудольных такие же, как при недостатке железа, только зеленые жилки обычно не так резко выделяются на пожелтевших тканях. Кроме того, очень быстро появляются бурые некротические пятна. Листья отмирают даже быстрее, чем при недостатке железа.

Марганцевая недостаточность у растений обостряется при низкой температуре и высокой влажности. Видимо, в связи с этим озимые хлеба наиболее чувствительны к его недостатку ранней весной.

Марганец участвует не только в фотосинтезе, но и в синтезе витамина С. При недостатке марганца понижается синтез органических веществ, уменьшается содержание хлорофилла в растениях, и они заболевают хлорозом.

Симптомы марганцевой недостаточности у растений проявляются чаще всего на карбонатных, торфянистых и других почвах с высоким содержанием органического вещества. Недостаток марганца у растений проявляется в появлении на листьях мелких хлоротичных пятен, располагающихся между жилками, которые остаются зелеными. У злаков хлоротичные пятна имеют вид удлиненных полосок, а у свеклы они располагаются мелкими пятнами по листовой пластинке. При марганцевом голодании отмечается также слабое развитие корневой системы растений. Наиболее чувствительными культурами к недостатку марганца являются свекла сахарная, кормовая и столовая, овес, картофель, яблоня, черешня и малина. У плодовых культур наряду с хлоротичным заболеванием листьев отмечается слабая облиственность деревьев, более раннее, чем обычно опадание листьев, а при сильном марганцевом голодании - засыхание и отмирание верхушек веток.

Физиологическая роль марганца в растениях связана, прежде всего, с его участием в окислительно-восстановительных процессах, проходящих в живой клетке, он входит в ряд ферментных систем и принимает участие в фотосинтезе, дыхании, углеводном и белковом обмене и т.п.[4].

Изучение эффективности марганцевых удобрений на различных почвах Украины показали, что урожай сахарной свеклы и содержание в ней сахара на их фоне был выше, более высоким был при этом и урожай зерновых [5-6].

## ЦИНК

Все культурные растения по отношению к цинку делятся на 3 группы:

- **очень чувствительные** (кукуруза, лен, хмель, виноград, плодовые);
- **средне чувствительные** (соя, фасоль, кормовые бобовые, горох, сахарная свекла, подсолнечник, клевер, лук, картофель, капуста, огурцы, ягодники);
- **слабо чувствительные** (овес, пшеница, ячмень, рожь, морковь, рис, люцерна).

Недостаток цинка для растений чаще всего наблюдается на песчаных и карбонатных почвах. [7]. Мало доступного цинка на торфяниках, а также на некоторых малоплодородных почвах. Недостаток цинка сильнее всего сказывается на образовании семян, чем на развитии вегетативных органов. Симптомы цинковой недостаточности широко встречаются у различных плодовых культур (яблоня, черешня, японская слива, орех, пекан, абрикос, авокадо, лимон, виноград). Особенно страдают от недостатка цинка цитрусовые культуры.

Физиологическая роль цинка в растениях очень разнообразна. Он оказывает большое влияние на окислительно-восстановительные процессы, скорость которых при его недостатке заметно снижается. Дефицит цинка ведет к нарушению процессов превращения углеводов. Установлено, что при недостатке цинка в листьях и корнях томата, цитрусовых и других культур, накапливаются фенольные соединения, фитостеролы или лецитины, уменьшается содержание крахмала. [8].

Цинк входит в состав различных ферментов: карбоангидразы, триозофосфатдегидрогеназы, пероксидазы, оксидазы, полифенолоксидазы и др.

Обнаружено, что большие дозы фосфора и азота усиливают признаки недостаточности цинка у растений и что цинковые удобрения особенно необходимы при внесении высоких доз фосфора [9].

Значение цинка для роста растений тесно связано с его участием в азотном обмене. Дефицит цинка приводит к значительному накоплению растворимых азотных соединений - аминов и аминокислот, что нарушает синтез белка. Многие исследования подтвердили, что содержание белка в растениях при недостатке цинка уменьшается.

Под влиянием цинка повышается синтез сахарозы, крахмала, общее содержание углеводов и белковых веществ. Применение цинковых удобрений увеличивает содержание аскорбиновой кислоты, сухого вещества и хлорофилла. Цинковые удобрения повышают засухо-, жаро- и холодоустойчивость растений [10].

Агрохимическими исследованиями установлена необходимость цинка для боль-

шого количества видов высших растений. Его физиологическая роль в растениях многосторонняя. Цинк играет важную роль в окислительно-восстановительных процессах, протекающих в растительном организме, он является составляющей частью ферментов, непосредственно участвует в синтезе хлорофилла, влияет на углеводный обмен в растениях и способствует синтезу витаминов [11].

При цинковой недостаточности у растений появляются хлоротичные пятна на листьях, которые становятся бледно-зелеными, а у некоторых растений почти белыми. У яблони, груши и ореха при недостатке цинка развивается так называемая розеточная болезнь, выражающаяся в образовании на концах ветвей мелких листьев, которые располагаются в форме розетки [12]. При цинковом голодании плодовых почек закладывается мало. Урожайность семечковых резко падает. Черешня еще более чувствительна к недостатку цинка, чем яблоня и груша. Признаки цинкового голодания у черешни проявляются в появлении мелких, узких и деформированных листьев. Хлороз вначале появляется на краях листьев и постепенно распространяется к средней жилке листа. При сильном развитии заболевания весь лист становится желтым или белым [7].

Из полевых культур цинковая недостаточность чаще всего проявляется на кукурузе в виде образования белого ростка или побеления верхушки. Показателем цинкового голодания у бобовых (фасоль, соя) является наличие хлороза на листьях, иногда асимметрическое развитие листовой пластинки. Недостаток цинка для растений чаще всего наблюдается на песчаных и супесчаных почвах с низким его содержанием, а также на карбонатных и старопашотных почвах.

Применение цинковых удобрений повышает урожай всех полевых, овощных и плодовых культур. При этом отмечается снижение пораженности растений грибковыми заболеваниями, повышается сахаристость плодовых и ягодных культур [13].

## **БОР**

Бор необходим для развития меристемы. Характерными признаками недостатка бора являются отмирание точек роста, побегов и корней, нарушения в образовании и развитии репродуктивных органов, разрушение сосудистой ткани и т.д. Недостаток бора очень часто вызывает разрушение молодых растущих тканей.

Под влиянием бора улучшаются синтез и перемещение углеводов, особенно сахарозы, из листьев к органам плодоношения и корням. Известно, что однодольные растения менее требовательны к бору, чем двудольные.

В литературе имеются данные о том, что бор улучшает передвижение ростовых веществ и аскорбиновой кислоты из листьев к органам плодоношения. Установлено, что

цветки наиболее богаты бором по сравнению с другими частями растений. Он играет существенную роль в процессах оплодотворения. При исключении его из питательной среды пыльца растений плохо или даже совсем не прорастает. В этих случаях внесение бора способствует лучшему прорастанию пыльцы, устраняет опадание завязей и усиливает развитие репродуктивных органов[14].

Бор играет важную роль в делении клеток и синтезе белков и является необходимым компонентом клеточной оболочки. Исключительно важную функцию выполняет бор в углеводном обмене. Недостаток его в питательной среде вызывает накопление сахаров в листьях растений. Это явление наблюдается у наиболее отзывчивых к борным удобрениям культур. Бор способствует и лучшему использованию кальция в процессах обмена веществ в растениях. Поэтому при недостатке бора растения не могут нормально использовать кальций, хотя последний находится в почве в достаточном количестве. Установлено, что размеры поглощения и накопления бора растениями возрастают при повышении калия в почве.

При недостатке бора в питательной среде наблюдается нарушение анатомического строения растений, например, слабое развитие ксилемы, раздробленность флоэмы основной паренхимы и дегенерация камбия. Корневая система развивается слабо, так как бор играет значительную роль в ее развитии.

Недостаток бора ведет не только к понижению урожая сельскохозяйственных культур, но и к ухудшению его качества. Следует отметить, что бор необходим растениям в течение всего вегетационного периода. Исключение бора из питательной среды в любой фазе роста растения приводит к его заболеванию.

Внешние признаки борного голодания изменяются в зависимости от вида растений, однако, можно привести ряд общих признаков, которые характерны для большинства высших растений [15]. При этом наблюдается остановка роста корня и стебля, затем появляется хлороз верхушечной точки роста, а позже при сильном борном голодании следует полное его отмирание. Из пазух листьев развиваются боковые побеги, растение усиленно кустится, однако вновь образовавшиеся побеги, вскоре тоже останавливаются в росте и повторяются все симптомы заболевания главного стебля. Особенно сильно страдают от недостатка бора репродуктивные органы растений, при этом больное растение может совершенно не образовывать цветков или их образуется очень мало, отмечается пустоцвет опадание завязей.

В этой связи применение борсодержащих удобрений и улучшение обеспечения растений этим элементом способствует не только увеличению урожайности, но и значительно повышению качества продукции. Улучшение борного питания ведет к повышению сахаристости сахарной свеклы, повышению содержания витамина С и сахаров в

плодово-ягодных культурах, томатах и т. д. [4,15,16,17].

Наиболее отзывчивы на борные удобрения сахарная и кормовая свекла, люцерна и клевер (семенные посевы), овощные культуры, лен, подсолнечник, конопля, эфиромасличные и зерновые культуры.

## МЕДЬ

Различные сельскохозяйственные культуры обладают неодинаковой чувствительностью к недостатку меди. Растения можно расположить в следующем порядке по убывающей отзывчивости на медь: пшеница, ячмень, овес, лен, кукуруза, морковь, свекла, лук, шпинат, люцерна и белокочанная капуста. Средней отзывчивостью отличаются картофель, томат, клевер красный, фасоль, соя. Сортовые особенности растений в пределах одного и того же вида имеют большое значение и существенно влияют на степень проявления симптомов медной недостаточности. [18].

Недостаток меди часто совпадает с недостатком цинка, а на песчаных почвах также с недостатком магния. Внесение высоких доз азотных удобрений усиливает потребность растений в меди и способствует обострению симптомов медной недостаточности.

Несмотря на то, что ряд других макро- и микроэлементов оказывает большое влияние на скорость окислительно-восстановительных процессов, действие меди в этих реакциях является специфическим, и она не может быть заменена каким-либо другим элементом. Под влиянием меди повышается как активность пероксидазы, так и снижение активности синтетических центров и ведет к накоплению растворимых углеводов, аминокислот и других продуктов распада сложных органических веществ. Медь является составной частью ряда важнейших окислительных ферментов - полифенолксидазы, аскорбинатоксидазы, лактазы, дегидрогеназы и др. Все указанные ферменты осуществляют реакции окисления переносом электронов с субстрата к молекулярному кислороду, который является акцептором электронов. В связи с этой функцией валентность меди в окислительно-восстановительных реакциях изменяется от двухвалентного до одновалентного состояния и обратно.

Медь играет большую роль в процессах фотосинтеза. Под влиянием меди повышается как активность пароксидазы, так и синтез белков, углеводов и жиров. При ее недостатке разрушение хлорофилла происходит значительно быстрее, чем при нормальном уровне питания растений медью, наблюдается понижение активности синтетических процессов, что ведет к накоплению растворимых углеводов, аминокислот и других продуктов распада сложных органических веществ [19].



При питании аммиачным азотом недостаток меди задерживает включение азота в белок, пептоны и пептиды уже в первые часы после внесения азотной подкормки. Это указывает на особо важную роль меди при применении аммиачного азота.

Характерной особенностью действия меди является то, что этот микроэлемент повышает устойчивость растений против грибковых и бактериальных заболеваний. Медь снижает заболевание зерновых культур различными видами головни, повышает устойчивость растений к бурой пятнистости и т.д. [20].

Признаки медной недостаточности проявляются чаще всего на торфянистых и на кислых песчаных почвах. Симптомы заболевания растений при недостатке в почве меди проявляются для зерновых в побелении и засыхании кончиков листовой пластинки. При сильном недостатке меди растения начинают усиленно куститься, но в дальнейшем колосения не происходит и весь стебель постепенно засыхает.

Фруктовые культуры при недостатке меди заболевают так называемой суховершинностью или экзантемой. При этом на листовых пластинках слив и абрикосов между жилками развивается отчетливый хлороз.

У томатов при недостатке меди отмечается замедление роста побегов, слабое развитие корней, появление темной синева-зеленой окраски листьев и их закручивание, отсутствие образования цветков.

Все указанные выше заболевания сельскохозяйственных культур при применении медных удобрений полностью устраняются, и продуктивность растений резко возрастает [21,22].

## **МОЛИБДЕН**

В настоящее время молибден по своему практическому значению выдвинут на одно из первых мест среди других микроэлементов, так как этот элемент оказался весьма важным фактором в решении двух кардинальных проблем современного сельского хозяйства - обеспечения растений азотом, а сельскохозяйственных животных белком [23].

В настоящее время установлена необходимость молибдена для роста растений вообще. При недостатке молибдена в тканях растений накапливается большое количество нитратов и нарушается нормальный азотный обмен.

Молибден участвует в углеводородном обмене, в обмене фосфорных удобрений, в синтезе витаминов и хлорофилла, влияет на интенсивность окислительно-восстановительных реакций. После обработки семян молибденом в листьях повышается содержание хлорофилла, каротина, фосфора и азота.

Установлено, что молибден входит в состав фермента нитратредуктазы, осуще-

ствляющей восстановление нитратов в растениях. Активность этого фермента зависит от уровня обеспеченности растений молибденом, а так же от форм азота, применяемых для их питания. При недостатке молибдена в питательной среде резко снижается активность нитратредуктазы.

Внесение молибдена отдельно и совместно с бором в различные фазы роста гороха улучшало активность аскорбинатоксидазы, полифенолоксидазы и пароксидазы. Наибольшее влияние на на активность аскорбинатоксидазы и полифенолоксидазы оказывает молибден, а активность пароксидазы - бор на фоне молибдена.

Нитратредуктаза при участии молибдена катализирует восстановление нитратов и нитритов, а нитритредуктаза также при участии молибдена восстанавливает нитраты до аммиака. Этим объясняется положительное действие молибдена на повышение содержания белков в растениях.

Под влиянием молибдена в растениях увеличивается также содержание углеводов, каротина и аскорбиновой кислоты, повышается содержание белковых веществ. Воздействием молибдена в растениях увеличивается содержание хлорофилла и повышается интенсивность фотосинтеза.

Недостаток молибдена приводит к глубокому нарушению обмена веществ у растений. Симптомом молибденовой недостаточности предшествует в первую очередь изменение в азотном обмене у растений. При недостатке молибдена тормозится процесс биологической редукции нитратов, замедляется синтез амидов, аминокислот и белков. Все это приводит не только к снижению урожая, но и к резкому ухудшению его качества [24].

Значение молибдена в жизни растений довольно разнообразно. Он активизирует процессы связывания атмосферного азота клубеньковыми бактериями, способствует синтезу и обмену белковых веществ в растениях. Наиболее чувствительны к недостатку молибдена такие культуры как соя, зерновые бобовые культуры, клевер, многолетние травы. Потребность растений в молибденовых удобрениях обычно возрастает на кислых почвах, имеющих рН ниже 5,2.

Физиологическая роль молибдена связана с фиксацией атмосферного азота, редукцией нитратного азота в растениях, участием в окислительно-восстановительных процессах, углеводном обмене, в синтезе хлорофилла и витаминов [24].

Недостаток молибдена в растениях проявляется в светло-зеленой окраске листьев, при этом сами листья становятся узкими, края их закручиваются внутрь и постепенно отмирают, появляется крапчатость, жилки листа остаются светло-зелеными. Недостаток молибдена выражается, прежде всего, в появлении желто-зеленой окраски листьев, что является следствием ослабления фиксации азота атмосферы, стебли и че-

решки растений становятся красновато-бурыми [22].

Результаты опытов по изучению молибденовых удобрений показали, что при их применении повышается урожай сельскохозяйственных культур и его качество, но особенно важна его роль в интенсификации симбиотической азотофиксации бобовыми культурами и улучшении азотного питания последующих культур [25].

## КОБАЛЬТ

Кобальт необходим для усиления азотофиксирующей деятельности клубеньковых бактерий. Он входит в состав витамина В12, который имеется в клубеньках, оказывает заметное положительное действие на активность фермента гидрогеназы, а также увеличивает активность нитратредуктазы в клубеньках бобовых культур.

Этот микроэлемент влияет на накопление сахаров и жиров в растениях. Кобальт благоприятно действует на процесс синтеза хлорофилла в листьях растений, уменьшает его распад в темноте, увеличивает интенсивность дыхания, содержание аскорбиновой кислоты в растениях. В результате внекорневых подкормок кобальтом в листьях растений повышается общее содержание нуклеиновых кислот. Кобальт оказывает заметное положительное действие на активность фермента гидрогеназы, а также увеличивает активность нитратредуктазы в клубеньках бобовых культур. Доказано положительное действие кобальта на томаты, горох, гречиху, ячмень, овес и другие культуры. [26, 27].

Кобальт принимает активное участие в реакциях окисления и восстановления, стимулирует цикл Кребса и оказывает положительное влияние на дыхание и энергетический обмен, а также биосинтез белка нуклеиновых кислот. Благодаря своему положительному влиянию на обмен веществ, синтез белков, усвоение углеводов и т.п. он является могучим стимулятором роста.

Положительное действие кобальта на сельскохозяйственные культуры проявляется в усилении азотофиксации бобовыми, повышении содержания хлорофилла в листьях и витамина В12 в клубеньках. [28].

Применение кобальта в виде удобрений под полевые культуры повышало урожай сахарной свеклы, зерновых культур и льна. При удобрении кобальтом винограда повышался урожай его ягод, их сахаристость и снижалась кислотность.

В таблице 1 приведены обобщенные характеристики влияния микроэлементов на функции растений, поведение их в почве при различных условиях, симптомы их дефицита и его последствия.

Приведенный обзор физиологической роли микроэлементов для высших растений свидетельствует о том, что недостаток почти каждого из них ведет к проявлению в той

или иной степени хлороза у растений.

На засоленных почвах применение микроэлементов усиливает поглощение растениями питательных веществ из почвы и снижается поглощение хлора, повышается накопление сахаров и аскорбиновой кислоты, наблюдается некоторое увеличение содержания хлорофилла и повышается продуктивность фотосинтеза. Кроме этого необходимо отметить и фунгицидные свойства микроэлементов, подавление грибковых заболеваний при обработке семян и при внесении их по вегетирующим растениям.

Таблица 1. Физиологическое значение основных микроэлементов

МЭ	Функции в растении	Поведение в почве при различных условиях	Симптомы дефицита и его последствия	Культуры, предрасположенные к дефициту
<b>Fe</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Необходимый компонент многих ферментов в растении.</li> <li>- Содержится в хлоропластах и участвует в фотосинтезе и метаболизме N и S.</li> <li>- Вовлечен в синтез хлорофилла.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Количество Fe, которое может усвоить растение, всегда ниже общего содержания Fe в почве.</li> <li>- Минимальное количество Fe усваивается на нейтральных и щелочных почвах.</li> <li>- Дефицит проявляется на известковых почвах ("известковый хлороз") или на почвах с высоким содержанием тяжелых металлов.</li> <li>- Переизбыток Mn приводит к дефициту Fe.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Может стимулировать хлороз, который проявляется на молодых листьях из-за малоподвижности Fe в растении.</li> <li>- У злаков хлороз проявляется в виде перемежающихся желтых и зеленых полос вдоль листа.</li> <li>- Дефицит Fe часто вызывает отмирание побегов.</li> </ul>	Цитрусовые, фруктовые деревья, виноградники, бобовые, маис, томаты, розы и декоративные растения
<b>Mn</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Участвует в высвобождении энергии из молекул, ее переносящих; распаде гормонов растений; совместно с Fe в транспорте энергии, необходимой для фотосинтеза; в процессе усвоения N, который замедляется при дефиците Mn.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Усваивается растением в меньшей степени на насыщенных влагой почвах.</li> <li>- Усвоение Mn возрастает при повышении pH.</li> <li>- Особенно высокий уровень pH снижает усвоение марганца.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- У видов с широкими листьями желтые некротические пятна между жилками листа, в первую очередь проявляющиеся на молодых листьях.</li> <li>- Серовато-зеленые точки и полосы на базальной стороне листьев (трава, зерновые).</li> <li>- Дефицит приводит к снижению урожайности и низкому качеству урожая</li> </ul>	Овес, пшеница, ячмень, горох, вишня, цитрусовые, соя, сахарная свекла, картофель
<b>Zn</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Катализатор во многих ферментных системах.</li> <li>- В составе ферментов участвует в метаболизме крахмала и азота.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Во многих случаях большая часть растворимого Zn находится в виде органических соединений.</li> <li>- Повышение pH снижает усвоение цинка.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- В большинстве случаев короткие междоузлия и хлоротические области в старых листьях, мелкие желтые точки, а на траве - желтые хлорозные ме-</li> </ul>	Маис, хмель, фасоль, лен, зеленые овощи, цитрусовые, виноград, яблони и груши

<b>МЭ</b>	<b>Функции в растении</b>	<b>Поведение в почве при различных условиях</b>	<b>Симптомы дефицита и его последствия</b>	<b>Культуры, предрасположенные к дефициту</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Контролирует синтез аминокислоты триптофана (предшественника ауксина, регулятора роста)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Симптомы дефицита проявляются в низинах, а также могут развиваться на почвах с переизбытком фосфора.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ждужилковые полосы. - У фруктовых деревьев отмирание почек и побегов после 1-го года, опадение листвы. Замедленный рост и нарушение клеточных функций.</li> </ul>	
<b>Сu</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- В основном в составе белков в зеленых клетках отвечает за связывание солнечной энергии;</li> <li>- Наряду с Zn, активирует фермент, предотвращающий разрушение клеток растений;</li> <li>- Участвует в процессе метаболизма белков и углеводов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Усваивается растением из органических соединений почвы.</li> <li>- Усвоение уменьшается при повышении рН из-за абсорбции частичками почвы.</li> <li>- Симптомы дефицита часто проявляются на известковых и выщелоченных песчаных почвах, на почвах с высоким содержанием органических веществ или глины.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Хлороз и скручивание листьев вследствие отмирания их кончиков. Ослабленная завязь у злаков - падение урожайности при отсутствии видимых признаков дефицита. Уменьшение высвобождения пыльцевых зерен, приводящее к меньшему опылению цветков и снижению урожайности. Вызывает "повисание" ветвей кроны у деревьев и полегание злаков (низкий урожай).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Злаки, цитрусовые, яблони, груши, зеленые овощи, рис, люцерна.</li> </ul>
<b>Mg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Основная функция - система переноса энергии.</li> <li>- Основная составная часть хлорофилла.</li> <li>- Активирует фермент, катализирующий участие CO<sub>2</sub> в процессе фотосинтеза</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Дефицит проявляется на выщелоченных гумусных и песчаных известковых почвах, особенно на богатых калием.</li> <li>- Оптимальное усвоение растением на нейтральных почвах.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Междужилковое пожелтение старых листьев, их отмирание и опадание в случае сильного дефицита Mg.</li> <li>- Хлорозные пятна вдоль листовой пластинки у злаков.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сахарная свекла, картофель, орехи, хмель, виноград, парник. культуры.</li> </ul>
<b>В</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Важный компонент синтеза РНК и ДНК.</li> <li>- Дефицит В ослабляет деятельность гормонов и</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Снижение усвоения в щелочных почвах из-за связывания с минералами.</li> <li>- Гуминовые кислоты - основной источник В.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Неправильное развитие апексных точек роста.</li> <li>- Замедленное развитие пыльцы уменьшает завязь, непра-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Сахарная и кормовая свекла, сельдерей, овощи, яблони, виноград, рапс, бобовые, люцерна.</li> </ul>

МЭ	Функции в растении	Поведение в почве при различных условиях	Симптомы дефицита и его последствия	Культуры, предрасположенные к дефициту
	замедляет транспорт сахара		вильно развивается плод. - Растрескивание стеблей с внутренним некрозом делает растения восприимчивыми к таким заболеваниям, как heart-rot у сахарной свеклы.	
<b>Mo</b>	- Необходим растению для утилизации азота и его фиксации у бобовых Rhizobium bacteria	- Дефицит проявляется на кислых песчаных, высокоподзолистых или свободно дренированных известковых почвах;  - Легче усваивается растением при повышении рН и содержания извести	- Дефицит Mo похож на дефицит N, т.е. растения плохо растут и листья светло-зеленого цвета. - Старые листья становятся хлоротичными и затем симптомы появляются по краю листа. - Желтые точки на листьях у цитрусовых - типичное проявление дефицита Mo.	Обычно необходим для пастбищ и бобовых; злаки Brassica, сахарная свекла, томаты.
<b>Co</b>	- Компонент витамина B <sub>12</sub> , необходимого для фиксации азота у бобовых растений и у животных	-Уровень Co низкий на сильно щелочных, кислых вулканических, известковых и торфяных почвах	- Плохой рост может быть исправлен применением аммонийного или нитратного азота. - Недостаточный уровень Co на пастбищах приводит к болезням скота.	Фасоль, горох, клевер, люцерна.