



МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ

Авторы: Н. Д. Алёхина

МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ РАСТЕНИЙ, поглощение растениями ионов химич. элементов, а также диоксида углерода (СО₂) и воды из внешней среды и их использование для процессов жизнедеятельности. В растении можно найти все химич. элементы, присутствующие в среде их обитания, но только 17 из них необходимы для роста и воспроизведения.

Помимо углерода (

C), кислорода (

O) и водорода (

H), к осн. элементам М. п. р. относятся азот (

N), фосфор (

P), сера (

S), калий (

K), кальций (

Ca), магний (

Mg) – макроэлементы, нужные организму в больших количествах, а также железо (

Fe), марганец (

Mn), медь (

Cu), цинк (

Zn), молибден (

Mo), никель (

Ni), бор (

B), хлор (

Cl) – микроэлементы, которые требуются в небольших количествах. Кремний (

Si), натрий (

Na), кобальт (

Со) необходимы лишь ряду растений; их называют полезными элементами.

С, О, Н поступают в высшие наземные растения из атмосферы (в виде

СО₂) и из почвы (в виде

Н⁺ О²⁻); первые два составляют в ср. по 45% от массы сухого вещества растения, а Н⁺ – 6%;

СО и

Н⁺ О²⁻ являются субстратами процесса фотосинтеза. Остальные химич. элементы поглощаются корнями (в осн. корневыми волосками) из почвенного раствора в форме катионов (

НН₄⁺, К⁺, Са²⁺, Мг²⁺, Fe²⁺, Мп²⁺, Zn²⁺, Сu²⁺, Мо⁶⁺, Ni²⁺), анионов (

NO₃⁻, Н⁺ PO₄⁻, SO₄²⁻, Cl⁻), а бор в виде

Н⁺ BO₃⁻.

В перемещении ионов в клетку и из клетки через плазматическую мембрану и через мембраны клеточных органелл играют специфич. транспортирующие белки. Одни из них осуществляют активный транспорт с затратой энергии, которая обеспечивается ионным насосом –

Н⁺–аденозинтрифосфатазой (

Н⁺–АТФазой), другие образуют ионные каналы. В клетке ионы распределяются между цитозолем и органеллами (компартаментация) так, что осн. часть ионов оказывается в вакуоли. Поступившие ионы транспортируются от поверхности корня в радиальном направлении по симпласту (протопластам клеток, соединённых плазмодесмами) и частично по клеточным стенкам к проводящим сосудам. По ксилеме с восходящим током вода и элементы поступают в растущие части надземных органов, в т. ч. в зрелые (т. н. донорные) листья. Из последних потоки веществ (и ряд ионов) по флоэме перемещаются как в восходящем направлении (к репродуктивным органам), так и в нисходящем – в корни и др. подземные органы (корнеплоды, клубни, луковицы). По мере старения нижних листьев химич. элементы оттекают из них по флоэме к растущим органам (точкам роста побегов, семенам, плодам, запасующим органам), где используются повторно (реутилизация). Циркуляция элементов обеспечивает их рациональное перераспределение в ходе развития растения. Химич. элементы М. п. р. могут выполнять специфич. функции в составе органич. молекул (

N, P, S) и комплексов (Ca, Mg, микроэлементы) или оставаясь в ионной форме (K, Ca, Mg, Cl, Na). Ионы могут частично заменять друг друга, выполняя неспецифич. функции (осморегуляция, поддержание pH и катионно-анионного баланса).

Азот – единственный элемент М. п. р., поглощаемый в виде как катиона, так и аниона.

В нитратной форме (NO_3^-) он наиболее доступен растениям, накапливается в вакуолях и важен для осморегуляции. Аммониевый ион (NH_4^+) при высокой концентрации в среде и накоплении в клетках может быть токсичен для растений. Минеральный

N усваивается в корнях и листьях. В состав органич. соединений включается только восстановленная форма, поэтому

NO_3^- предварительно восстанавливается до

NO_4^+ . Первичным продуктом усвоения является глутаминовая кислота и глутамин, которые затем служат источником

N для синтеза др.

N-содержащих соединений: аминокислот (и, следовательно, белков), нуклеиновых кислот, порфиринов (хлорофиллы, геммы), полиаминов и др. азотистых соединений.

Свободные аминокислоты накапливаются в вакуолях и являются запасной формой

N при реутилизации. В отличие от животных, которые избавляются от конечных продуктов азотистого обмена, для растений характерно накопление таких продуктов

в вакуолях (т. н. биохимич. экскреция) для последующего их использования. Сера, поступающая в виде сульфатного иона (

SO_4^{2-}), восстанавливается в хлоропластах и используется в синтезе цистеина,

который служит также субстратом для синтеза метионина. Способность

сульфгидрильных групп (

$-\text{SH}$) двух молекул цистеина образовывать дисульфидные мостики (

$-\text{S}-\text{S}-$) определяет роль серы в формировании вторичной структуры белков.

Недостаток или избыток таких связей в запасных белках зерна пшеницы ухудшает хлебопекарные свойства муки. Фитохелатины – производные [глутатиона](#) –

осуществляют детоксикацию тяжёлых металлов (Cd, Zn, Pb) и ксенобиотиков. Растения являются источником глутатиона и фитохелатинов для человека. Восстановленная сера ($-SH$ и $-S-$) входит в состав каталитич. центров ряда ферментов и коферментов электрон-транспортных цепей фотосинтеза и дыхания и является компонентом ряда витаминов. Окисленная сера находится в составе разнообразных вторичных соединений, которые придают вкус и аромат горчице, капусте, редьке, репе и ряду др. растений. Фосфор в виде ионов фосфата (PO_4^{3-}) и пиродифосфата ($P_2O_7^{4-}$) – в составе нуклеиновых кислот, макроэргических соединений, фосфолипидов (осн. компонентов биологических мембран). Обратимые изменения пространственной структуры белков при их фосфорилировании и дефосфорилировании с участием ферментов протеинкиназ и протеинфосфатаз – универсальный механизм регуляции биохимич. процессов в клетке. Коферменты НАД, НАДФ, флавиновые адениннуклеотиды (ФАД, ФМН) играют центр. роль в реакциях фотосинтеза, окислит. фосфорилировании и др. Кальций-магниевая соль инозитфосфорной кислоты – фитин составляет 1–8% от массы семян хлебных злаков, которые служат источником этого нужного для человека соединения. Магний входит в состав хлорофилла (ок. 6% от общего содержания Mg в листе). В хлоропластах Mg^{2+} участвует в поддержании катионно-анионного баланса. Он активирует больше ферментов, чем какой-либо др. элемент, в т. ч. АТФсинтазы и АТФазы. Аденозинфосфаты участвуют в реакциях в форме комплекса с магнием. Mg^{2+} -АТФ, запасаемый в семенах зерновых и орехах, – источник этого комплекса для человека. Mg необходим для сохранения целостности рибосом и поддержания их структуры при синтезе белка. Кальций медленно накапливается в растении, слабо перемещается по флоэме и плохо реутилизируется. Часто Са клеточной стенки образует связь с карбоксильными группами пектина, что стабилизирует структуру стенки, определяет характер перемещения и накопления в ней разл. ионов, её буферные свойства и способность к детоксикации ряда тяжёлых металлов. Осн. запасы (пулы)

Ca^{2+} сосредоточены в клеточной стенке, вакуоли и в эндоплазматич. ретикулуме. Любое (часто стрессовое) воздействие на клетку сопровождается увеличением содержания

Ca^{2+} в цитоплазме. При этом активируются некоторые ферменты, а также работа сократит. белков, тормозится разборка микротрубочек, что влияет на вязкость и движение цитоплазмы, митотич. и секреторную активность клеток; изменение концентрации

Ca^{2+} – первый этап в распознавании клеткой внешнего воздействия и передаче полученного сигнала к генетич. аппарату. Связываясь с регуляторным белком кальмодулином,

Ca^{2+} участвует в активации мн. биохимич. процессов. Калий накапливается в растениях в большом количестве (до 10% от сухой массы) и, оставаясь в несвязанной форме, легко циркулирует по растению и в клетке. Перемещение

K^+ через плазматич. мембрану с участием многочисл.

K^+ -каналов, специфичных у клеток разных тканей и органов растения, обеспечивает поддержание постоянства внутр. среды: клеточного объёма, осмотич. давления, катионно-анионного баланса. В клетках растений, как и у животных,

K^+ включён в регуляцию мембранного потенциала.

K^+ играет важную роль в нейтрализации отрицательно заряженных групп белков и нуклеиновых кислот, что обеспечивает стабильность их пространственной структуры.

Но у некоторых ферментов активность зависит от связывания

K^+ в активном центре. В механизме устьичных движений (см. Устьице) только

K^+ , как регулятор осмотич. давления, участвует в открывании и закрывании устьица.

Растения включают в биогеохимические циклы огромный поток элементов, которые затем используются разл. организмами. Знания о М. п. р. служат основой для земледелия, лесоводства и необходимы для принятия мер по охране окружающей среды. Управление М. п. р. с помощью удобрений – наиболее действенный путь повышения продуктивности с.-х. культур. Достижения совр. науки и новые подходы к исследованию минер. питания (иономика, нутриомика) позволяют увеличить продуктивность растений при интенсивной агротехнике, получать урожай на малоудобренных почвах, улучшать качество продукции путём создания сортов с

эффективными системами поглощения элементов минер. питания или повышенным содержанием минер. элементов и «полезных» веществ (в т. ч. незаменимые аминокислоты, глутатион, фитин). Свойство растений накапливать тяжёлые металлы в избыточном количестве используется в биоремедиации – технологии очистки загрязнённых территорий. Недостаток (чаще) или избыток элементов М. п. р. приводит к развитию болезней растений.

Литература

Лит.: Сабинин Д. А. Избранные труды по минеральному питанию растений. М., 1971;
Физиология растений / Под ред. И. П. Ермакова. 2-е изд. М., 2007.

Processing math: 100%