

Д.А. Кореньков

**Удобрения, их свойства и способы
использования**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 631
ББК 4
Д11

Д11 **Д.А. Кореньков**
Удобрения, их свойства и способы использования / Д.А. Кореньков – М.: Книга по Требованию, 2023. – 416 с.

ISBN 978-5-458-30249-4

В книге обобщен большой фактический материал отечественной и зарубежной агрохимической науки и передового опыта по применению удобрений. Освещены все вопросы использования минеральных, органических удобрений, микроудобрений. Все материалы рассмотрены в зональном разрезе с учетом особенностей применения удобрений под важнейшие сельскохозяйственные культуры. Большое внимание уделено вопросам известкования кислых почв и гипсования солонцов. Рассчитана на агрономов, руководителей хозяйств.

ISBN 978-5-458-30249-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

минеральных удобрений в сочетании с органическими. Это важно не только при малых дозах минеральных удобрений, но и при больших. Правильное соотношение питательных веществ во вносимых удобрениях имеет особо важное значение в повышении их эффективности. Эффективность удобрений повышается на мелиорируемых землях. Очень важно на эродированных почвах сочетать внесение удобрений с приемами противоэрозионной обработки.

Специализация, концентрация и межхозяйственная кооперация вызывают необходимость изменения структуры посевных площадей, пересмотра прежних универсальных севооборотов, максимального насыщения их ведущими культурами. В этих условиях система удобрения должна правильно сочетаться с применением других средств химизации и в первую очередь пестицидов. Применение удобрений должно обеспечивать не только повышение урожайности, но и улучшение качества продукции, повышение плодородия почв, а также способствовать сохранению и улучшению окружающей среды.

В настоящей книге обобщены материалы научно-исследовательских учреждений и передовой опыт по применению удобрений. Большое внимание уделено повышению их эффективности и рациональному использованию.

Отдельные разделы написали: «Предисловие» — член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков; «Основные положения о питании растений» — член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков и кандидат биологических наук Ю. М. Капцынель; «Азотные удобрения» — член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков и доктор сельскохозяйственных наук Д. А. Филимонов; «Технология получения фосфорных удобрений» — кандидат биологических наук Ю. М. Капцынель; «Фосфорные удобрения и плодородие почв» — кандидат сельскохозяйственных наук Ю. И. Касицкий; «Качество продукции и фосфорные удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук О. В. Сдобникова; «Калийные удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук А. В. Петербургский; «Серные удобрения» — кандидат сельскохозяйственных наук А. Д. Мочалова; «Магниевые удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук К. П. Магницкий и кандидат сельскохозяйственных наук И. А. Норкина; «Комплексные удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук А. В. Петербургский; «Микроудобрения» — кандидаты сельскохозяйственных наук А. П. Кеворков, Л. Н. Собачкина, А. А. Собачкин; «Основные способы внесения удобрений» — академик ВАСХНИЛ И. И. Синягин; «Эффективность локального внесения удобрений в различных почвенно-климатических зонах» — кандидат сельскохозяйственных наук Л. С. Кубарева; «Применение тукосмесей» — кандидат сельскохозяйственных наук Р. И. Синдяшкина; «Эффективность минеральных удобрений в разных зонах» — член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков и кандидат сельскохозяйственных наук

Ю. Г. Карцев; «Длительное применение удобрений и плодородие почв» — академик ВАСХНИЛ Н. С. Авдонин (раздел доработан членом-корреспондентом ВАСХНИЛ Д. А. Кореньковым на основе данных Географической сети опытов с удобрениями ВИУА); «Зависимость эффективности удобрений от севооборота и предшественника», «Площади питания растений», «Полегание растений и эффективность удобрений», «Осушение избыточно увлажненных почв и действие удобрений» — академик ВАСХНИЛ И. И. Синягин; «Обработка почвы и эффективность удобрений», «Орошение и эффективность удобрений» — академик ВАСХНИЛ И. И. Синягин и член-корреспондент ВАСХНИЛ Д. А. Кореньков; «Борьба с сорняками и удобрения» — академик ВАСХНИЛ И. И. Синягин и кандидат сельскохозяйственных наук Н. И. Цимбалист; «Известкование кислых почв» — кандидат сельскохозяйственных наук И. А. Шильников; «Гипсование солонцов» — доктор сельскохозяйственных наук К. П. Пак и кандидат сельскохозяйственных наук И. Г. Цюрупа; «Органические удобрения» — доктор сельскохозяйственных наук И. П. Мамченков и кандидат сельскохозяйственных наук В. А. Васильев; «Зеленое удобрение» — кандидаты сельскохозяйственных наук Н. А. Атрашкова, А. И. Хабарова, И. К. Довбан; «Механизация применения удобрений» — кандидат сельскохозяйственных наук И. Ф. Сендряков; «Экономическая эффективность применения удобрений» — доктор сельскохозяйственных наук Н. Н. Баранов; «Автоматизированные системы для агрохимических исследований и планирования урожайности сельскохозяйственных культур» — кандидат технических наук Р. А. Срапенянц.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ПИТАНИИ РАСТЕНИЙ

Для правильного использования средств химизации и в первую очередь удобрений и получения высокого с хорошими качественными показателями урожая сельскохозяйственных культур необходимо принимать во внимание взаимосвязь внутренних и внешних условий питания растений.

Внутренние условия питания растений. Стойко передающиеся из поколения в поколение наследственные признаки растений определяют особенности их анатомического и морфологического строения и обуславливают их способ размножения, рост, развитие и требования к элементам питания, воде, теплу, свету и другим факторам внешней среды. Наследственные признаки могут быть изменены под сильным влиянием физических и химических воздействий.

Носителями наследственности в любых живых организмах являются нуклеиновые кислоты. Существуют две относящиеся к макромолекулярным соединениям, функционально различные нуклеиновые кислоты: дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), которая содержится в хромосомах, хлоропластах и митохондриях, и рибонуклеиновая кислота (РНК), которая обнаружена почти во всех структурных компонентах живой клетки. Полимерные молекулы нуклеиновых кислот состоят из мономеров — нуклеотидов, которые содержат пуриновое (гуанин, аденин) или пиримидиновое (цитозин, 5-метилцитозин, урацил, тимин) основание, пентозу и остаток фосфорной кислоты.

Молекулы РНК значительно меньше, чем молекулы ДНК. К низкомолекулярным РНК относятся хромосомная и транспортная РНК с 76—85 нуклеотидами, рибосомная РНК (около 120 нуклеотидов); к высокомолекулярным — отдельные виды рибосомной РНК ($2 \cdot 10^3$ и $4 \cdot 10^3$ нуклеотидов) и информационной (или матричной) РНК (от нескольких до десятков тысяч нуклеотидов).

Огромное количество сочетаний нуклеотидов в ДНК и РНК, отражающее наследственные особенности, и создает то многообразие живых организмов, которое мы наблюдаем в природе. В наследственных особенностях растительных организмов заложена видовая (и сортовая) способность усваивать из внешней среды питательные вещества.

Внешние условия питания растений. Вода составляет 50—98 % массы живого растения. На создание 1 кг сухого вещества зерновых культур требуется в среднем 300 т воды. Установлено, что 99,8 % поглощаемой корнями воды испаряется в воздух и

только 0,2 % идет на развитие самого растения. За период вегетации на испарение растение в зависимости от его вида и густоты стояния тратит воды в 300—500 (а иногда и в 1000) раз больше массы получаемого сухого урожая. Вся возделываемая и естественная растительность нашей страны испаряет ежегодно 3500 км³ воды, что примерно соответствует одной трети годовой суммы осадков в СССР.

Вода поглощается в основном путем осмоса или, иными словами, диффузии через полупроницаемую мембрану, хорошо проницаемую для воды и непроницаемую или плохо проницаемую для растворенных в воде веществ. Пространство, окруженное полупроницаемой мембраной и заполненное каким-либо водным раствором, называется осмотической ячейкой. Растворенные вещества не могут выходить через полупроницаемую мембрану или выходят с большим трудом, но поскольку концентрация воды (число молей на объем) снаружи больше, чем внутри осмотической ячейки, вода устремляется по градиенту ее химического потенциала. Чем выше концентрация растворенных веществ в осмотической ячейке, тем ниже химический потенциал воды в ней, тем больше разность потенциалов и тем сильнее приток воды. В результате осмотического притока воды в вакуоль там возникает гидростатическое давление, называемое тургорным давлением, которое противодействует дальнейшему притоку воды в клетку.

Потеря воды сверх допустимого предела приводит к необратимым изменениям в растении и его гибели. Поскольку в количественном отношении вода является главной составной частью клетки, она служит средой для большинства и субстратом (например, для фотосинтеза) для многих биохимических реакций. При очень низком содержании воды (например, в сухих семенах) обмен веществ почти прекращается.

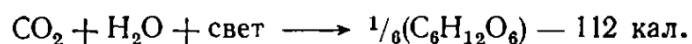
Тепло и свет. Понятие «тепловой режим почвы» включает совокупность поступления и отдачи тепла почвой и его передвижение из всех источников температуры (лучистая энергия — прямая и рассеянная радиация солнца и атмосферная радиация, тепло воздуха, тепло, возникающее от разложения органических остатков, внутреннее тепло земного шара, тепло от радиоактивных процессов, происходящих в почве). В течение вегетационного периода растений на территории европейской части СССР 1 см² поверхности почвы получает в среднем за сутки 1 ккал. В этом случае почва аккумулирует только пятую часть падающей на нее солнечной энергии, но и это количество тепла в основном расходуется на испарение воды с поверхности почвы. На процесс фотосинтеза в условиях СССР фактически в среднем используется около 1 % падающего количества тепла. Нормальная жизнедеятельность растений происходит только в определенных для каждого вида температурных пределах. Например, для большей части сельскохозяйственных культур, возделываемых в РСФСР,

оптимальной температурой является 15—30° С. Снижение температуры отрицательно влияет в первую очередь на поглощение корнями азота, затем фосфора и кальция и меньше калия.

Свет солнечных лучей неоднороден, и значение их спектров различно. Зеленые растения в основном поглощают солнечный спектр, представленный лучами с длиной волны от 380 до 760 мкм. В этой области зеленые листья разных растений имеют примерно одинаковые кривые поглощения солнечного спектра с двумя максимумами: 400—480 мкм — сине-фиолетовые и 620—680 мкм — оранжево-красные лучи и двумя минимумами: 520—580 мкм — желто-зеленые и 720—800 мкм — дальние красные и ближние инфракрасные лучи. Инфракрасные лучи имеют в основном тепловое значение. Основные фотохимические процессы в зеленых листьях совершаются при поглощении лучей с длиной волны 400—700 мкм, которое зависит от наличия пигментов в растении. Оранжево-красные лучи поглощаются главным образом хлорофиллом. Ультрафиолетовые лучи с длиной волны менее 300 мкм, которые губительно действуют на живые организмы, почти полностью задерживаются озоном атмосферы. Ультрафиолетовые лучи с длиной волны более 300 мкм, достигающие земной поверхности, составляют всего лишь 3—5 % солнечной радиации и практически полностью поглощаются (на 90—99 %) растениями. В среднем растения поглощают 40—60 % солнечной радиации, которая доходит до поверхности почвы.

Воздушное питание. Под воздушным питанием понимают поступление и ассимиляцию зелеными листьями углекислого газа из атмосферы, а также усвоение некоторого количества солей. При воздушном питании растения в первую очередь обогащаются углеродом, кислородом и водородом. В среднем в растении содержится 45 % углерода, 42 % кислорода и 6,5 % водорода. Эти элементы — основа фотосинтеза, который является единственным природным процессом связывания солнечной энергии, благодаря чему в конечном итоге создаются сложнейшие, обладающие высокой потенциальной энергией органические соединения из неорганических веществ.

Фотосинтез — это процесс взаимодействия углекислого газа и воды при участии хлорофилла, поглощающего энергию световых лучей:



Процесс фотосинтеза состоит из реакций разложения воды под действием света (фотолиз) — световая фаза и восстановления углекислого газа — темновая фаза. Первичный продукт фотосинтеза — фосfogлицериновая кислота, превращающаяся затем в углеводы, аминокислоты и другие соединения. Важным результатом реакции фотосинтеза является фосфолирование аденозиндифосфорной кислоты (АДФ) до образования богатой энергией аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Эта энергия (макро-

эргическая энергия) может переноситься (а также передаваться обратно для образования новых количеств АТФ) почти без потерь на другие соединения или использоваться при синтезе белков нуклеиновых кислот, углеводов, жиров и других соединений.

При сгорании 1 г продуктов фотосинтеза высвобождается следующее количество тепла: углеводов до 4 ккал, белков 5,7 ккал и жиров 9,5 ккал. Зеленые растения земного шара за год фиксируют около $17,4 \times 10^{10}$ углерода, что составляет $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$ его запаса (в виде CO_2) в атмосфере и около 0,3—0,4 % в гидро- и тропосферах. В процессе фотосинтеза создается до 90 % сухого вещества растений.

Общая продукция органического вещества, синтезируемая растительностью земного шара, составляет (в пересчете на глюкозу) около $4,5 \cdot 10^{11}$ т в год. Для питания животных организмов и на топливо расходуется лишь 3,5 % органического углерода, синтезированного наземной флорой.

Ежегодно в процессе фотосинтеза растения выделяют в атмосферу около 5×10^{11} т свободного кислорода. В результате дыхания растений, на которое идет лишь незначительная часть выделенного ими кислорода, возникает энергия, необходимая для протекания самых разнообразных жизненных процессов: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + 674$ кал. Следует отметить, что субстратами дыхания могут быть не только углеводы, но и органические кислоты, белки и т. д.

Наличие того или иного количества кислорода и углекислого газа в корнеобитаемой среде оказывает определенное влияние на поглощение питательных веществ. Считается, что для многих растений максимальное поглощение минеральных солей корнями происходит при содержании в среде 2—3 % кислорода. Однако известна широкая амплитуда колебаний газового состава внешней среды, при которой растения развиваются нормально. С другой стороны, работами Н. З. Станкова с сотрудниками показана депрессирующая роль углекислоты на поглощение корнями нитратов, фосфатов и ионов аммония.

Почвенное корневое питание. Все питательные элементы в почвенных условиях поступают в растение через корень, разносторонняя роль которого в их жизни с точки зрения физиологии питания выражается в поглощении воды и минеральных элементов из почвы, в частичной или полной переработке поступивших ионов в различные органические соединения и транспортировке их в надземные органы растений, в синтезе физиологически активных веществ (цитокининов, гиббереллинов и других соединений), без которых не происходит нормального роста и развития надземных органов. В обычных условиях питательные элементы поступают в корни в следующих формах: неметаллы N, S, P и B — в виде анионов (нитрат, сульфат, фосфат, борат), N также в форме NH_4^+ катиона; щелочные и щелочноземельные металлы K,

Ca, Mg — в виде катионов; тяжелые металлы Fe, Mn, Cu, Mo и Zn — в виде катионов (исключение — молибдат MoO_4^{2-}); Cl — в виде хлорид-аниона.

Вносимые удобрения в почве растворяются в почвенном растворе и распадаются (диссоциируют) на ионы. На поверхности корней и корневых волосков скапливаются ионы H^+ и HCO_3^- , которые появляются при диссоциации угольной кислоты, образовавшейся при растворении выделившегося в процессе дыхания углекислого газа в клеточном соке. Обмен этих ионов на катионы и анионы почвенного раствора обеспечивает насыщение поверхности корней и корневых волосков ионами питательных солей. В почвенном растворе содержится только часть усваиваемых растениями питательных веществ. Основная масса ионов находится в адсорбированном состоянии в почвенном поглощающем комплексе, который постоянно обменно взаимодействует с почвенным раствором. По мере использования питательных веществ растениями содержание ионов в почвенном растворе возмещается путем перехода из твердой фазы почвы. Интенсивность обновления почвенного раствора должна быть достаточно высока: обмен ионами между жидкой и твердой фазами почвы совершается многократно в течение нескольких минут. Однако скорость высвобождения ионов из твердой фазы почвы в жидкую не является лимитирующим фактором в питании растений. Исследования показали, что скорость перехода фосфатных ионов из твердой фазы в почвенный раствор в 250 раз выше, чем скорость поглощения растениями этих ионов из почвенного раствора. Главную роль в интенсивности снабжения корней растений питательными веществами играет концентрация почвенного раствора, который находится в равновесии с твердой фазой почвы.

В то же время концентрация питательного элемента в почвенном растворе зависит от общего содержания и формы его соединений в твердой фазе почвы, взаимодействия с другими элементами, величины pH , биологической активности почвы и многих других факторов. В результате извлечения корнями из почвенного раствора питательных веществ может происходить резкое обеднение тем или иным ионом микронутrientов почвы на границе корни — почва (как это было экспериментально показано для фосфат-ионов (Levis a. Quirk, 1967)). Это обеднение ионами должно компенсироваться возмещением их содержания либо путем диффузии через жидкую фазу, либо передвижением вместе с водой (массовый поток) в связи с обусловленным транспирацией поглощением ее корнями растений. Таким образом, можно назвать три основных механизма поступления питательных веществ на поверхность корня: непосредственное соприкосновение (контакт), массовый поток (перенос с током воды) и диффузия. Для разных ионов роль этих путей неодинакова: для кальция преобладает контакт и массовый поток, для нитратов — массовый поток и диффузия, для калия и фосфора — диффузия.

Присутствие плазмалеммы (своеобразного барьера проницаемости) не приводит к выравниванию концентрации ионов внутри клетки и во внешней среде. Поступление веществ в корень, которое происходит благодаря освобождающейся в процессе обмена веществ энергии (как правило, за счет энергии АТФ), называют активным (метаболическим) транспортом в отличие от пассивного транспорта, не требующего затрат энергии. Диффузия лежит в основе пассивного транспорта веществ. Если в растворе имеется градиент концентрации какого-либо вещества, то возникает диффузия, то есть в единицу времени в сторону градиента концентрации передвигается больше частиц этого вещества, чем в противоположном направлении, благодаря чему градиент сглаживается. Количество вещества, диффундирующего в единицу времени, зависит от величины градиента, от природы диффундирующего вещества (что отражается коэффициентом диффузии данного вещества) и от температуры. Скорость диффузии уменьшается с увеличением ее продолжительности.

Ионы могут поступать в клетки корня с массовым потоком — с током воды, которую поглощают корни растений. Обобщение результатов исследований позволило (Drew a. Nye, 1962) сделать вывод о том, что не более 59—71 % питательных веществ поступает в растения с массовым потоком. Однако для некоторых ионов (например, калия) эти цифры будут значительно меньше. Bowling (1976) обнаружил, что корни подсолнечника за 24 ч поглотили калия в результате массового потока в 15 раз меньше, чем вследствие диффузии. Tanton a. Crowdy (1972) считают, что за это же время только около 5 % всего поступившего калия было поглощено с массовым током.

Механизмы активного поглощения известны только для ионов питательных веществ, так как растение обладает определенной избирательной способностью по отношению к различным ионам. Активное (метаболическое) поглощение — это биологический процесс, представляющий собой транспорт ионов в цитоплазму и далее в вакуоль с гипотетичным участием переносчиков при затратах энергии (в первую очередь благодаря АТФ). Нарушение снабжения клеток энергией (ингибиторы дыхания, отсутствие кислорода) приводит к приостановке активного транспорта. Активный транспорт при помощи переносчиков объясняет избирательность поглощения ионов, а также конкуренцию при поглощении химически близких ионов. Движение его направлено против электрохимического потенциала. С точки зрения термодинамики оно связано с уменьшением свободной энергии процесса.

В связи с тем что ионы — электрически заряженные частицы, их распределение между клеткой корня и внешней средой определяется разностью концентраций и разностью электрического потенциала (около 100 мВ) на пограничной мембране — градиентом электрохимического потенциала, что и является движущей силой потоков между средой и клеткой.

Питательные вещества наиболее энергично поступают в растения в период активного роста. У сельскохозяйственных культур наблюдается неодинаковая потребность в таких элементах, как азот, фосфор и калий. На более ранних фазах развития для создания ассимилирующей поверхности (листья) растения нуждаются в усиленном азотном питании. Для создания репродуктивных органов необходимо усиленное фосфорно-калийное питание на фоне умеренного азотного питания. Из злаков наиболее растянут период поглощения питательных веществ у озимой пшеницы и ржи. Содержание азота и калия в них достигает максимума в конце цветения — начале созревания зерна, а поступление фосфора продолжается вплоть до полной его спелости. Поступление калия прекращается уже в конце колошения озимых, после чего происходит его перераспределение между органами растения. У яровых зерновых интенсивное поглощение питательных веществ непродолжительно, например у овса 40—55 дней, у зернобобовых почти в 2 раза дольше; особенно растянуто поступление фосфора.

Часть элементов питания может поступать в растения и через листья. Но это, как показали многочисленные исследования, не может заменить корневого питания, а служит лишь подкормкой сельскохозяйственных культур. Вместе с тем показана существенная положительная роль позднелетних азотных подкормок пшеницы в повышении содержания белка в зерне.

Влияние реакции среды на развитие растений. Кислотность среды (рН) имеет большое физиологическое значение для всех растений, у разных видов которых, впрочем, выявлено большое разнообразие в отношении к ней. Широкими исследованиями установлены оптимальные значения рН среды для нормального развития многих сельскохозяйственных растений. Наиболее вероятной причиной влияния различных значений рН на продуктивность растений является действие на характер использования элементов питания.

Известно, что в кислой среде относительно лучше поглощаются анионы, в щелочной — катионы, хотя такая зависимость и не всегда проявляется отчетливо, что связано с многими обстоятельствами (концентрацией, типом почвы, особенностями отдельных элементов питания и т. д.). Кислотность среды влияет также на ряд важнейших физиологических процессов: фотосинтез (Климашевский, 1964), синтез ростовых веществ в корнях (Андреев и др., 1964), активность ферментативных систем (Диксон, Уэбб, 1961) и ряд других. Несмотря на то что корневые системы растений обладают известной способностью смещать рН в прикорневых микроразонах до оптимального уровня (Сабинин, 1928), в сельскохозяйственной практике эта особенность из-за большой динамичности почвенной среды недостаточна для получения высокой их продуктивности. Регуляция рН достигается известкованием кислых почв, применением соответствующих агротехнических приемов.

Значение основных элементов питания. Азота в составе сухого вещества растений обычно бывает 0,5—4 %. Однако азот наиболее важный элемент не только растительных организмов, но и всего органического мира. Он является обязательной составной частью белков, аминокислот, нуклеиновых кислот, хлорофилла, алкалоидов, фосфатидов, глюкозидов, многих витаминов, биологически активных соединений, ферментов. С повышением уровня азотного питания увеличивается масса фракции ядер в клетках и соотношение в них белкового и небелкового азота (Карманенко, 1968), содержание суммарной и информационной РНК в ядрах листьев (Мосолов, Чебан, 1974).

Недостаток азота в питании приводит к ослаблению или прекращению процессов жизнедеятельности всего растительного организма. В среде, которая окружает растение, азот находится в виде свободного газообразного азота атмосферы, который составляет 80 % воздуха (по объему), и в виде различных органических и неорганических соединений, основная часть которых обнаруживается в почве (аммиачный азот NH_4^+ , нитратный азот NO_3^- , органический азот белков и продуктов его расщепления — аминокислот, пептидов, аминов и т. д.).

Растения значительно лучше усваивают неорганические формы азота, чем органические (за исключением мочевины, аспарагина и глутамина — соединений, относительно легко отщепляющих аммонийный азот). Причем аммонийный азот обычно используется быстрее, чем нитратный. Накопление фосфора и калия в ядрах интенсивнее идет при аммиачной форме азотного питания, чем при нитратной (Оболенская, Бузюкина, 1969). Однако на процесс преимущественного поглощения той или иной формы азота существенное влияние оказывают реакция среды, сопутствующие ионы, запас углеводов в семенах, температура, влажность и аэрация почвы и ряд других факторов. Поглощенный неорганический азот в определенной последовательности включается в синтез азоторганических соединений: сначала образуются простые, затем более сложные соединения (конституционные и запасные белки).

Для синтеза аминокислот и далее белков необходима восстановленная форма азота, поэтому нитраты благодаря ферментативному окислению углеводов должны быть восстановлены до аммиака. Аммиачный азот не накапливается в растениях, а принимает участие в образовании аминокислот из кетокислот (реакция аминирования) и аминокислот — аспарагина и глутамина. Их образование происходит как результат обезвреживания аммиака при обильном аммиачном питании, а также при его накоплении в процессе деаминирования аминокислот. Иногда обезвреживание аммиака идет путем образования аммонийных солей (например, щавелевокислого аммония) или образования в растительных тканях мочевины. Наряду с синтезом белков в растениях идут и процессы их распада до аммиака.