

## **Тема. Химический состав, питание растений и методы его регулирования**

### **Химический состав растений**

Растения строят свой организм из определенных химических элементов, находящихся в окружающей среде. Химический состав растений – содержание в них органических и минеральных веществ, а также отдельных химических элементов – выражают в процентах от массы сухих веществ (реже – в % от «сырой» массы). Используется измерение и в мг на 1 кг сухого или «сырого» вещества. Большинство сельскохозяйственных культур содержит в вегетативных органах 85-95 % воды и 5-15 % сухих веществ. В созревших семенах на сухое вещество уже приходится 85-88 %, воду – 12-15 %. В зерне зерновых и зернобобовых культур воды содержится 12-15 %, семенах масличных культур – 7-10 %, клубнях картофеля, корнеплодах сахарной свеклы – 75-80 %, корнеплодах столовой свеклы и моркови – 85-90 %, в зеленой массе злаковых, бобовых трав – 75-85 %, в плодах томатов и огурцов – 92-96 %.

В составе сухого вещества растений 90-95 % приходится на органические соединения и 5-10 % на минеральные соли. Органические вещества представлены в растениях белками, жирами, крахмалом, сахарами, клетчаткой, пектиновыми веществами и другими соединениями. Качество растениеводческой продукции определяется содержанием органических и минеральных соединений.

Вид и характер использования продукции определяют ценность отдельных органических соединений в ее составе. В зерновых культурах основные вещества, определяющие их качество, – белки и крахмал. Более высоким содержанием белка у зерновых культур отличается пшеница, а крахмала – пивоваренный ячмень. Накопление белка в зерне ячменя, используемого для пивоваренного производства, должно быть регламентировано (11,0-11,5 %), поскольку его повышенное содержание ухудшает качество сырья. Качество клубней картофеля оценивается по содержанию крахмала, сахарной свеклы – сахара. Лен возделывают для получения волокна, состоящего из клетчатки, масличные культуры (рапс, подсолнечник и др.) – масла. Качество продукции зависит также от содержания витаминов, алкалоидов, органических кислот и пектиновых веществ, эфирных и горчичных масел.

В плодовых, ягодных и овощных культурах важными показателями качества является содержание сахаров, органических кислот, витаминов и других веществ.

Накопление отдельных групп органических соединений может изменяться в зависимости от условий выращивания сельскохозяйственных культур, видовых и сортовых особенностей растений, применения удобрений. Создавая соответствующие условия питания с помощью удобрений, можно повысить урожайность и улучшить качество наиболее

ценной части урожая. Усиление азотного питания позволяет увеличить содержание белка в растениях, а повышение фосфорно-калийного питания обеспечивает большее накопление углеводов: крахмала – в клубнях картофеля, сахара – в корнеплодах сахарной свеклы.

В растениях обнаружено более 70 элементов. В среднем сухое вещество растений содержит 45 % углерода, 42 % кислорода, 6,5 % водорода, на азот и зольные элементы приходится 6,5 %.

При сжигании растительного материала органогенные элементы улетучиваются в виде газообразных соединений и паров воды, а в золе остаются преимущественно многочисленные зольные элементы, на которые приходится в среднем около 5 % массы сухого вещества.

Азот и такие зольные элементы, как фосфор, калий, сера, кальций, магний, натрий, хлор и железо содержатся в растениях в относительно больших количествах (от нескольких процентов до сотых долей процента сухого вещества) и называются макроэлементами.

Содержание других необходимых для растений элементов – бора, меди, цинка, марганца, молибдена, ванадия и кобальта – в растениях составляет от тысячных до сотысячных долей процента, и они относятся к микроэлементам. Элементы, содержание которых находится в еще меньших количествах, – к ультрамикроэлементам. Однако такое деление весьма условно. Например, железо по количественному содержанию следует отнести к макроэлементам, а по выполняемым функциям – к микроэлементам.

В настоящее время 20 элементов (N, P, K, S, H, Ca, Mg, O, S, Mo, Zn, Cu, B, Mn, Co, Cl, J, Na, V, Fe) относятся к необходимым, так как растения без них не могут полностью закончить цикл развития. Они не могут быть заменены другими элементами.

К условно необходимым относятся 12 элементов (Li, Ag, Sr, Cd, Al, Si, Ti, Pb, Cz, Se, F, Ni). В ряде опытов получены данные, что эти элементы оказывали положительное влияние на рост и развитие растений.

Потребление растениями элементов минерального питания является сложным физиологическим процессом, зависящим от биологических особенностей самого растения и условий окружающей среды. Различные направления в синтезе органических соединений в известной мере обуславливают избирательную способность растений.

На накопление элементов минерального питания в растениях влияют концентрация питательных элементов в почве, обеспеченность влагой, степень кислотности, от которой зависит как растворимость отдельных элементов, так и процесс поглощения растительной клеткой катионов и анионов, наличие в почве воздуха.

Химический состав растений используется для определения выноса элементов питания. Вынос питательных элементов из почвы возрастает с увеличением урожайности. В то же время при большем уровне урожайности затраты питательных элементов на формирование единицы продукции обычно снижаются.

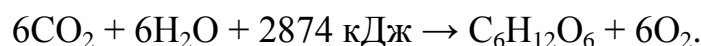
Наиболее продуктивное использование сельскохозяйственными культурами питательных элементов из почвы и удобрений обеспечивается при наиболее благоприятных почвенно-климатических условиях, высоком уровне агротехники в сочетании с рациональным применением удобрений.

### Питание растений и методы его регулирования

Питание растений – это поглощение и усвоение ими питательных элементов из окружающей среды. Различают воздушное и корневое питание растений.

Воздушное питание – это усвоение зеленым растением углекислого газа из воздуха в процессе фотосинтеза с образованием при участии воды и минеральных соединений органических веществ. Фотосинтез протекает на свету с помощью хлорофилла, содержащегося в листьях. При световой фазе фотосинтеза происходит разложение воды с выделением кислорода, богатого энергией соединения аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) и восстановленных продуктов. Из этих соединений в следующей темновой фазе фотосинтеза образуются углеводы и другие органические соединения из  $\text{CO}_2$ .

При образовании в качестве продукта фотосинтеза простых углеводов (гексоз) суммарное уравнение процесса выглядит так:



Путем дальнейших превращений из простых углеводов в растениях образуются более сложные углеводы, а также другие безазотистые органические соединения.

Аминокислоты, белки и другие органические азотсодержащие вещества в растениях синтезируются из минеральных соединений азота, фосфора и серы и промежуточных продуктов обмена (синтеза и разложения) углеводов.

Интенсивность фотосинтеза и накопление сухого вещества зависят от освещения, содержания углекислого газа в воздухе, обеспеченности растений водой и элементами минерального питания.

Корневое питание – это усвоение корнями воды и минеральных элементов – азота и зольных элементов в виде ионов (катионов и анионов), а также незначительных количеств некоторых органических соединений. Так, азот может поглощаться в виде анионов  $\text{NO}_3^-$  и катионов  $\text{NH}_4^+$ , фосфор и сера – в виде анионов фосфорной ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), и серной кислот ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), калий, кальций, магний – в виде катионов  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , а микроэлементы – в виде соответствующих катионов или анионов.

Растения усваивают ионы не только из почвенного раствора, но и ионы, поглощенные коллоидами. Более того, растения активно (благодаря растворяющей способности корневых выделений, включающих угольную кислоту, органические кислоты и аминокислоты) воздействуют на твердую фазу почвы, переводя необходимые питательные элементы в доступную форму.

Между воздушным и корневым питанием существует тесная связь: некоторые питательные элементы могут поступать в растение как из почвы, так и из воздуха. Так, небольшое количество углекислого газа поступает в корни из почвы, а серы, азота, бора и других элементов – из водных растворов, при некорневых подкормках – через листья. Для бобовых основным источником азота является воздух.

При корневом питании растения поглощают корнями минеральные элементы и включают их в обмен веществ между растением и внешней средой. Поступление элементов через корни, их передвижение и усвоение тесно связаны с фотосинтезом, дыханием, другими биохимическими процессами и требуют затрат энергии. При этом растения обладают избирательной способностью поглощения элементов питания.

Корнями растения усваивают ионы (катионы и анионы) из почвенного раствора, а также из почвенно-поглощающего комплекса (ППК). Катионы и анионы, находящиеся в поглощенном состоянии на ППК также как ионы почвенного раствора могут обмениваться на катионы и анионы, адсорбированные на поверхности клеток корня ( $H^+$  и  $NO_3^-$ , анионы органических кислот) и являются важным источником питания растений. Контактный обмен ионов клеточной оболочки ризодермы с ионами, находящимися на поверхности ППК, может осуществляться без перехода ионов в почвенный раствор. Тесный контакт происходит благодаря выделению слизи корневыми волосками и отсутствию кутикулы у ризодермы, так что зона поглощения корней и частицы почвы образуют как бы единую коллоидную систему. При этом азот поглощается в виде анионов  $NO_3^-$  и катионов  $NH_4^+$  (бобовые способны усваивать из атмосферы и молекулярный азот). Фосфор и сера поглощаются в форме анионов  $HPO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ; калий, кальций, магний, натрий, железо – в виде катионов  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Fe^{3+}$ ; микроэлементы – в виде анионов и катионов. Кроме этих элементов корни растений способны поглощать из почвы  $CO_2$  (до 5 % от общего его потребления), а также аминокислоты, витамины, ферменты и некоторые другие растворимые органические вещества.

К корням растений ионы питательных элементов поступают либо с потоком воды, либо диффузионно, т.е. благодаря проникновению молекул одного вещества в другое при непосредственном соприкосновении (или через пористую перегородку), обусловленному тепловым движением молекул. Установлено, что при высокой насыщенности почвенного раствора они поступают к корням с потоком раствора, при низкой насыщенности почвенного раствора ионами и высокой потребности в них растений ионы передвигаются к корням диффузией. Фосфор и калий доставляются к растениям в основном диффузией, а кальций и магний – с током почвенного раствора. Нитраты передвигаются в почве быстрее, чем фосфаты, и поглощаются интенсивнее: если фосфаты поглощаются в радиусе 0,1 см от корня, то нитраты – в радиусе 1 см.

Питательные элементы в растительную клетку поступают через цитоплазматическую мембрану, или плазмалемму. Цитоплазматическая мембрана

состоит из двух слоев фосфолипидов, которые имеют полярные «головки» – гидрофильные группы и неполярные «хвосты» – гидрофобные группы. В определенных участках плазмалеммы встроены белки-переносчики. Из белков построены поры и каналы в мембране. Часть белков представлена ферментами.

Положительно заряженные участки мембраны имеют группы  $H^+$ , а отрицательно –  $OH^-$ , которые способны обмениваться на анионы и катионы почвенного раствора. Обмен связан не только с амфотерными свойствами белков цитоплазмы, но и с процессами дыхания.

### **Избирательное поглощение ионов растениями, физиологическая реакция солей (удобрений)**

Известно, что растения поглощают питательные элементы не в том соотношении, в каком они находятся в почве, а в количестве, нужном для их жизненных процессов, т. е. растения обладают избирательной способностью поглощения. Например, при внесении в почву сернокислого аммония  $((NH_4)_2SO_4)$  растения будут интенсивнее и в больших количествах поглощать (в обмен на ионы водорода) катионы  $NH_4^+$ , поскольку они используются для синтеза аминокислот, а затем белков, а ионы  $SO_4^{2-}$  нужны растениям в значительно меньшем количестве и поэтому будут меньше поглощаться. В почвенном растворе в этом случае будут накапливаться ионы  $H^+$  и  $SO_4^{2-}$  (серная кислота), произойдет его подкисление. При внесении натриевой селитры  $(NaNO_3)$  растения будут больше и быстрее поглощать анионы  $NO_3^-$  в обмен на анионы  $HCO_3^-$ . В растворе будут накапливаться ионы  $Na^+$  и  $HCO_3^-$  ( $NaHCO_3$ ), произойдет его подщелачивание.

Избирательное поглощение растениями катионов и анионов из солей обуславливает их физиологическую кислотность или физиологическую щелочность. Соли, из которых в больших количествах поглощается анион, чем катион ( $NaNO_3$ ,  $KNO_3$ ,  $Ca(NO_3)_2$ ), и происходит подщелачивание раствора, являются физиологически щелочными. Соли, из которых катион поглощается растениями в больших количествах, чем анион ( $NH_4Cl$ ,  $(NH_4)_2SO_4$ ,  $(NH_4)_2CO_3$ ,  $KCl$ ,  $K_2SO_4$ ), и происходит подкисление раствора, являются физиологически кислыми.

Физиологическую реакцию солей, используемых в качестве минеральных удобрений, обязательно нужно учитывать, чтобы не допустить ухудшения условий роста и развития сельскохозяйственных культур.

### **Влияние условий внешней среды и микроорганизмов на поглощение растениями питательных элементов**

Поглощение растениями питательных элементов зависит от свойств почвы, ее водно-воздушного и теплового режимов, освещенности и других условий внешней среды. Особенно сильное влияние на поступление пита-

тельных элементов в растение оказывают реакция почвенного раствора, его концентрация и соотношение в нем солей.

Растения способны усваивать питательные элементы из почвенного раствора при невысокой их концентрации: от 0,01-0,05 до 0,1-0,2 %. При концентрации выше 0,2 % поглощение растениями воды и элементов питания резко замедляется, что приводит к их завяданию (плазмолизу клеток). Это наблюдается на засоленных почвах. Лучше усваиваются элементы питания из растворов умеренно повышенных концентраций. Чувствительность к концентрации почвенного раствора у разных растений неодинакова. Наиболее чувствительны к концентрированным растворам лен, люпин, огурцы, морковь, а также большинство молодых растений.

Важнейшее условие нормального питания растений – это оптимальное соотношение в почвенном растворе питательных элементов, т. е. соотношение катионов и анионов. Оно должно полностью отвечать потребностям конкретного растения. Такой раствор называется физиологически уравновешенным. Опытами установлено, что, когда в растворе преобладают какие-либо одни ионы над другими, создаются неблагоприятные условия для питания растений. Например, высокая концентрация кальция сдерживает поступление в растение калия. Такое явление наблюдается при известковании кислых почв и называется антагонизмом. Между анионами антагонизм проявляется слабее. Антагонизм сильнее между анионами, обладающими близкими химическими свойствами, например, между  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{SeO}_4^{2-}$ . Нет антагонизма между  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , но он возникает между анионами с одинаковыми зарядами, например, между  $\text{NO}_3^-$ , и  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Наряду с антагонизмом происходят процессы синергизма: ионы с противоположными зарядами могут активизировать поступление друг друга в растение, например,  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{K}^+$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{NO}_3^-$  и т. д.

Существенное значение для нормального питания растений имеет реакция почвенного раствора. Для большинства растений оптимальной реакцией почвы считается слабокислая и близкая к нейтральной, с рН солевой вытяжки 5,5-6,5. Однако есть растения, которые лучше растут на почвах с кислой (люпин) или слабощелочной (люцерна) реакцией среды. При повышенной кислотности почвенного раствора ухудшается развитие корневой системы, снижается поглощение питательных элементов, особенно кальция и магния, подавляется синтез белков и сахаров. При щелочной реакции затрудняется поступление анионов (например, фосфорной кислоты), но усиливается усвоение катионов.

Большую роль в питании растений играет корневая система. Она выделяет в почву угольную кислоту и некоторые органические кислоты, а также ферменты и другие вещества. Под влиянием корневых выделений элементы питания из труднодоступных соединений переходят в легкодоступную форму, в результате чего улучшается питание растений фосфором, калием, кальцием и другими элементами.

Влажность почвы также имеет важное значение для поступления питательных элементов в растение и его нормального развития. Прежде всего,

вода является средой, в которой происходит диффузия ионов из почвенного раствора и почвенного поглощающего комплекса к корням растений. При оптимальном увлажнении увеличивается поступление питательных элементов в растение, при недостатке влаги – уменьшается. Избыточное увлажнение почвы отрицательно сказывается на развитии растений: усиливается поступление токсичных закисных соединений железа, марганца и уменьшается – кислорода. Вода необходима для фотосинтеза. Около 0,2 % поглощаемой растением воды расходуется на образование органических веществ, свыше 99 % ее испаряется при транспирации, при этом происходит охлаждение надземной части растения и передвижение питательных элементов по сосудам.

Важное значение в питании растений имеет воздушный режим (аэрация). Воздух необходим, прежде всего, для дыхания растений. При его недостатке нарушается питание растений. Для большинства сельскохозяйственных культур достаточным является содержание в почвенном воздухе 8-12 % кислорода. При уменьшении его содержания растения угнетаются, а при содержании менее 5 % – погибают. При недостатке кислорода в почве образуется больше восстановленных форм железа и других элементов, вредных для растений, увеличивается содержание углекислого газа, а это снижает поглощение корнями азота, фосфора и ионов аммония, а также деятельность аэробных микроорганизмов.

Воздушный режим почвы во многом определяется ее структурой, а также качеством обработки, придающей ей рыхлое состояние.

На питание растений большое влияние оказывает температура почвы. Корни растений при пониженной температуре плохо развиваются и слабо усваивают питательные элементы и воду. Поступление элементов питания усиливается с повышением температуры почвы от 10 до 25 °С. При понижении температуры ниже 10 °С снижается поступление в растение, прежде всего, азота и фосфора. Поэтому азотные подкормки озимых культур целесообразно проводить весной при достижении температуры 5-7 °С. Невысокая температура почвы меньше сказывается на поступлении калия в растения. С другой стороны, на поступление питательных элементов (например, фосфора) отрицательно влияет чрезмерно высокая температура, что, очевидно, обусловлено снижением активности ферментативных систем. Считается, что оптимальная температура для поступления в растения азота, фосфора и калия – 23-25 °С, критической для поступления основных элементов минерального питания является температура около 5-6 °С.

Интенсивность поглощения растением питательных элементов тесно связана с освещенностью. В процессе фотосинтеза растение усваивает солнечную энергию, это усиливает поглощение питательных элементов из почвы.

В питании растений огромное значение имеют микроорганизмы, прежде всего те, которые поселяются на корнях или непосредственно около них, т. е. в ризосфере. Ризосферные микроорганизмы, используя в качестве пищи и энергетического материала выделения корней, вместе с другими почвенными

микроорганизмами играют важную роль в превращении органического вещества почвы и органических удобрений в усвояемые растениями формы. Некоторые виды микроорганизмов способны также разлагать труднорастворимые минеральные соединения фосфора и калия, делая их доступными для растений. Кроме того, в почве есть бактерии (клубеньковые, свободноживущие, ризосферные), которые усваивают молекулярный азот воздуха, и он также становится доступным для растений. Наконец, с жизнедеятельностью микроорганизмов тесно связано образование гумуса.

Однако микроорганизмы могут и ухудшать условия питания растений, так как у них одни и те же источники питания – азот и зольные элементы почвы. Микроорганизмы становятся конкурентами растений в использовании питательных элементов. Например, при использовании соломы или плохо разложившегося солоमистого навоза в качестве удобрения в почве создаются большие запасы энергетического материала (что очень благоприятно для бактерий), но мало азота. Из-за потребления азота микроорганизмами растения ощущают недостаток в нем, а иногда и в фосфоре. А в итоге урожайность культуры может снижаться. Правда, закрепление азота микроорганизмами носит временный характер: после их отмирания азот высвобождается и вновь становится доступным растениям.

В почве есть также бактерии-денитрификаторы, которые превращают нитраты ( $\text{NO}_3^-$ ) в закисные формы ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и молекулярный азот ( $\text{N}_2$ ), который улетучивается из почвы в атмосферу. Кроме того, некоторые почвенные микроорганизмы вызывают болезни растений.

### **Отношение растений к условиям питания в разные периоды роста**

Растения в разные периоды роста предъявляют неодинаковые требования к условиям внешней среды, в том числе к условиям питания. Поглощение растениями азота, фосфора, калия и других питательных элементов в течение вегетации происходит неравномерно. В связи с этим различают критический и максимальный периоды питания.

В начальный период развития растения потребляют относительно небольшое количество питательных элементов, но весьма чувствительны как к недостатку, так и избытку их в растворе.

Начальный период роста – критический в отношении фосфорного питания. Недостаток фосфора в начальный период роста настолько сильно угнетает растения, что урожай резко снижается даже при обильном питании фосфором в последующие периоды.

Вследствие высокой напряженности синтетических процессов при слабо развитой еще корневой системе молодые растения особенно требовательны к условиям питания. Следовательно, в прикорневой зоне в этот период питательные элементы должны находиться в легкодоступной форме, но концентрация их не должна быть высокой, а фосфор должен преобладать по сравнению с азотом и калием. Обеспечение достаточного уровня снабжения всеми элементами с начала вегетации имеет важное значение для формиро-

вания урожая. Так, у зерновых уже в период разворачивания первых трех-четырех листьев начинаются закладка и дифференция репродуктивных органов – колоса или метелки. Недостаток азота в этот период даже при усиленном питании в дальнейшем приводит к уменьшению колосков в метелке или колосе и снижению урожая.

Максимальный период потребления растениями питательных элементов обычно совпадает с периодом интенсивного роста стеблей, листьев. В это время растения особенно много потребляют азота. Недостаток азота в этот период приводит к угнетению роста, а в дальнейшем – к снижению урожая и его качества. Ко времени цветения и плодообразования потребность в азоте у большинства растений уменьшается, но возрастает роль фосфора и калия – они участвуют в синтезе и передвижении органических веществ в растении, например, аминокислот – в зерно, сахара – в корни корнеплодов и т. д.

В период плодообразования, когда нарастание вегетативной массы заканчивается, потребление всех питательных элементов постепенно снижается, а затем их поступление прекращается. Дальнейшее образование органического вещества и другие процессы жизнедеятельности обеспечиваются, в основном, за счет повторного использования питательных элементов, уже накопленных в растении.

Различные сельскохозяйственные культуры отличаются количеством и интенсивностью поглощения питательных элементов в течение вегетационного периода. Все зерновые, лен, ранний картофель, некоторые овощные культуры отличаются коротким периодом интенсивного питания, основное количество питательных элементов они потребляют в сжатые сроки. Например, яровая пшеница за сравнительно короткий промежуток – от выхода в трубку до конца колошения – потребляет 65-75 % всех элементов питания. У льна ярко выраженный период максимального потребления элементов питания – от фазы бутонизации до цветения.

Для кукурузы, сахарной свеклы и некоторых других растений характерно более плавное, растянутое потребление питательных элементов, поглощение их они продолжают почти до конца вегетации.

Неодинаковая потребность в элементах питания и интенсивность их поглощения в течение вегетационного периода должны учитываться при разработке системы удобрения. Для этого используются различные приемы внесения удобрений: основное (до посева), припосевное (во время сева) и проведение подкормок.

Цель основного внесения удобрений – обеспечить растения элементами питания на всю вегетацию, поэтому до посева в большинстве случаев вносят полную дозу органических удобрений и большую часть минеральных. Припосевное удобрение (в рядки, при посадке – в лунки, гнезда) вносят, чтобы обеспечить растения в начальный период развития легкодоступными формами питательных элементов, прежде всего фосфором. Для снабжения растений элементами питания в наиболее ответственные периоды вегетации в дополнение к основному и припосевному удобрению проводят подкормки. Выбор срока, способа внесения удобрений и заделки их в почву зависит от осо-

бенностей биологии растений, климатических условий, вида и формы удобрения.

Регулируя условия питания растений по периодам роста, внесением удобрений можно направленно воздействовать на величину урожая и его качество.