

ЛЕКЦИЯ 3. КАЛИЙ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ БЕЛАРУСИ

Вопросы

1. Калий в природе. Состояние калия в почве и методы его определения.
2. Влияние на почву систематического внесения калийных удобрений.
3. Факторы эффективности калийных удобрений.
4. Экологические аспекты применения калийных удобрений.

Литература

1. Агрохимия: учебник / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша. – Минск: 2012. – 506 с.
2. Вильдфлуш, И. Р. Агрохимия: учеб.пособие / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Минск: РИПО, 2011. – 300 с.
3. Справочник агронома / И. Р. Вильдфлуш [и др.]; под ред. И. Р. Вильдфлуша, П. А. Саскевича. – Горки : БГСХА, 2017. – 315 с.
4. Гордеев, А. М. Оптимизация минерального питания растений при неблагоприятных факторах среды / А. М. Гордеев. – М., 1991. – 192 с.

1. Калий является одним из основных элементов минерального питания растений. В растительных организмах он находится в ионной форме и не входит в органические соединения клеток. Он содержится главным образом в цитоплазме и вакуолях, в ядре отсутствует. Около 20 % калия удерживается в клетках растений в обменно-поглощенном состоянии коллоидами цитоплазмы, до 1 % его необменно поглощается митохондриями, а основная часть (примерно 80 %) находится в клеточном соке и легко извлекается водой. Поэтому калий вымывается из растений дождями, особенно из старых листьев. Физиологические функции калия в растительном организме разнообразны.

Накапливающийся в хлоропластах и митохондриях калий стабилизирует их структуру и способствует образованию богатой энергией аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) в процессах фотосинтетического и окислительного фосфорилирования. На свету прочность связей иона калия с коллоидами цитоплазмы клетки усиливается, а в темноте она ослабевает и происходит частичное выделение калия из растений через корни. Он оказывает положительное влияние на физическое состояние коллоидов цитоплазмы, повышает их оводненность, набухаемость и вязкость, что создает нормальные условия обмена веществ в клетках, повышает устойчивость растений к засухе.

Калий положительно влияет на интенсивность фотосинтеза, окислительных процессов и образование органических кислот в растении, на углеводный и азотный обмен. Повышая активность ферментов, участвующих в углеводном обмене, калий способствует накоплению крахмала в клубнях картофеля, сахара в сахарной свекле, корнеплодах и других растениях, повышает устойчивость зерновых к морозам, а также к полеганию, к поражению мучнистой росой и ржавчиной, а овощные культуры, картофель и корнеплоды делает менее восприимчивыми к гнилям. У льна повышается выход и качество волокна, у зерновых – посевные качества семян. Имеются данные о положительном влиянии калия на вкусовые качества плодов.

Молодые жизнедеятельные органы растений содержат значительно больше калия, чем старые. В зерновых культурах его больше в соломе, чем в зерне. При недостатке калия в питательной среде происходит его отток из более старых органов и тканей в молодые органы, где он используется повторно (реутилизируется). При дефиците калия в почве края и кончики листьев (в основном нижних) буреют, становятся похожими на обожженные (этот симптом называется краевым ожогом), на пластинке листа появляются мелкие ржавые пятна. Чаще, чем другие культуры, от недостатка калия страдают картофель,

корнеплоды, капуста, силосные культуры и многолетние травы, так как им необходимо много калия. Менее чувствительны к дефициту калия зерновые злаки, при остром его дефиците они плохо кустятся, междоузлия стеблей укорачиваются, а листья, в основном нижние, увядают даже при достаточной влажности.

Большое значение калия связано с содержанием в растениях радиоактивного изотопа калия ^{40}K . На его долю приходится 0,011 %, ^{39}K – 93,08 и ^{41}K – 69,1 %. ^{40}K излучает бета- и гамма-лучи. Считают, что оба вида излучений создают дополнительную внутриклеточную энергию (излучение полезно для растений).

Следует отметить, что радиационный фон земли в немалой степени обусловлен ^{40}K . Радиоактивный калий является важным глубинным источником тепла нашей планеты.

Почти все почвы (кроме торфяных) содержат калия в 5 – 10 раз больше, чем азота и фосфора. Удельный вес этого элемента колеблется от 0,5 до 3 % в разных типах почв. Больше калия (2 – 2,5 %) содержат глинистые и суглинистые почвы, меньше (1 – 2 %) – песчаные и супесчаные. Торфяные почвы содержат только 0,03 – 1 % калия. Однако калий содержится в почвах главным образом в недоступной для растений форме.

По доступности растениям все соединения калия в почве можно распределить на пять групп: калий горных пород и минералов, водорастворимые соединения калия, обменный (поглощенный) калий, калий органического вещества, необменный или фиксированный калий.

Калий горных пород и минералов составляет 98 – 99 % общего количества калия в почве и представлен в виде **труднорастворимых алюмосиликатов: полевых шпатов, слюд и гидрослюд**. Он становится доступным растениям только после разрушения и превращения минералов в более простые минералы и соли и большого значения в питании растений не имеет.

Водорастворимые соединения калия (нитраты, фосфаты, сульфаты, хлориды, карбонаты) находятся в почвенном растворе. Доступны для растений, но содержатся в очень незначительных количествах: от 1 до 7 мг K_2O в 1 кг почвы, или от 3 до 21 кг на 1 га.

Обменный, или поглощенный, калий представлен **катионами калия** в почвенном поглощающем комплексе. Катионы ППК и водорастворимые соединения калия – это основные источники калийного питания растений. Поэтому степень обеспеченности почв калием для питания растений принято выражать содержанием его в подвижной форме (сумма водорастворимого и обменного).

В зависимости от степени обеспеченности подвижными формами калия почвы республики распределены на шесть групп (табл. 7.1).

Калий органического вещества входит в состав растительных остатков и микроорганизмов. Растениями непосредственно не усваивается, но в процессе минерализации органических веществ легко переходит в почвенный раствор и становится доступным для растений. Однако даже на хорошо окультуренных почвах содержание калия, входящего в состав плазмы микроорганизмов не превышает 25 кг/га и в связи с этим эта форма калия практического значения в питании растений не имеет.

Необменный, или фиксированный, калий поглощается почвой, прочно удерживается кристаллической решеткой минералов и поэтому труднодоступен для растений.

Соотношение разных форм калия в почве зависит от ее типа и гранулометрического состава, степени окультуренности.

Между формами калия в почве существует подвижное (динамическое) равновесие, и если, например, растение поглощает водорастворимый калий, то количество его в почве пополняется за счет обменного, а уменьшение последнего через какое-то время восполняется за счет необменного калия. Таким образом, по мере потребления растениями подвижного калия запасы его будут пополняться за счет труднообменного, а также калия кристаллической решетки минералов. Однако в почве могут происходить и обратные процессы превращения одной формы в другую. Как указывает ряд исследователей, попеременно подсушивание и увлажнение почвы, обычно летом, несколько ускоряют этот про-

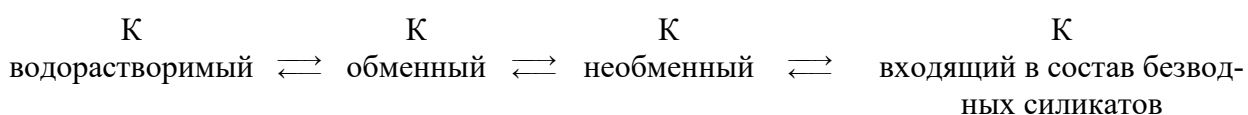
цесс. Мобилизирующее воздействие на переход калия в доступные формы оказывают сами растения.

Однако даже на пахотных угодьях еще велика доля почв, слабообеспеченных калием (менее 140 мг/кг на минеральных и менее 400 – на торфяно-болотных почвах), которая составляет 30,4 %. На долю слабообеспеченных почв на глинистых и суглинистых почвах приходится 26,4 %, супесчаных – 26,2, песчаных – 39,7 и торфяных – 59,8 %. 62,2 % почв улучшенных сенокосов и пастбищ слабо обеспечены подвижным калием. В то же время появились почвы с содержанием подвижного калия более 400 мг в 1 кг почвы (3,6 %), на которых внесение калийных удобрений неэффективно и приводит к непроизводительным затратам. Поэтому для повышения плодородия почв и рационального использования удобрений нужна оптимизация калийного питания растений, внесение калийных удобрений с учетом содержания калия в почвах.

Обменный калий в дерново-подзолистых песчаных почвах составляет примерно 0,5 %, супесчаных – 0,8, суглинистых – 1,5 % и глинистых – 2–3 % общего. Известно, что ионы обменного калия неравнозначны по доступности, которая зависит от их размещения в ППК почвы. Наименее прочно связаны ионы калия, которые сорбируются и удерживаются на планарных поверхностях кристаллов, несколько прочнее ионы, прикрепленные на углах и ребрах. Калий, занимающий эти сорбционные позиции, относится к категории интенсивно обменного калия, так как ионы его относительно быстро переходят в почвенный раствор. Наиболее прочно ионы обменного калия удерживаются в межпакетных гексагональных пустотах решетки и на клинообразных позициях ее боковых граней. На этих же позициях происходит и необменная фиксация калия. Для определения подвижного калия используется вытяжка 0,2 М HCl (метод Кирсанова), а обменного 1 М CH₃COONH₄ (метод Масловой). Природный необменный калий прочно связан с кристаллической решеткой минералов и переходит в доступное состояние в результате выветривания.

Калий фиксированный почвой из удобрений доступен растениям, причем его доступность тем выше, чем больше количество его фиксировано почвой. Необменный калий из почвы извлекается 2М HCl (метод Пчелкина), 10% -ной HCl (метод Гедройца) и другими способами.

Формы соединений калия могут переходить друг в друга. Это можно выразить следующим образом:



Степень обеспеченности почв доступным для растений калием выражается содержанием подвижных его форм. Однако более полная характеристика калийного режима почвы предусматривает кроме содержания подвижных форм калия в почве учет степени его подвижности, т.е. степени доступности растениям. Современные методы позволяют дать такую оценку. Она базируется на физико-химической взаимосвязи ионов калия, кальция и магния в системе «почва — почвенный раствор» и выражается через термодинамический потенциал калия, или так называемый калийный потенциал, который рассматривается как «фактор интенсивности» почвенного калия.

Под калийным потенциалом понимают изменение свободной энергии в реакциях обмена между катионами калия, с одной стороны, и кальция и магния – с другой, в системе «твердая часть почвы – почвенный раствор» при постоянных значениях температуры (25 °С) и давления (1,01·10⁵ Па). Калийный потенциал (ΔZ^0) находят по формуле $\Delta Z^0 = pK - 0,5 pCa$, где p – отрицательный логарифм активностей ионов K⁺ и суммы Ca²⁺ и Mg²⁺.

Калийный потенциал почвы указывает на возможность перехода поглощенного ею калия в раствор с учетом конкуренции сопровождающих его двухвалентных катионов. Чем больше числовое значение калийного потенциала, тем ниже способность K⁺ к переходу в раствор, а следовательно, и его доступность растениям. Поскольку получаемая вели-

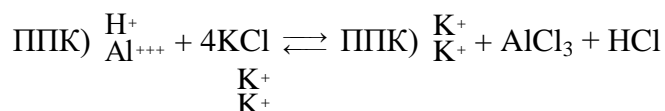
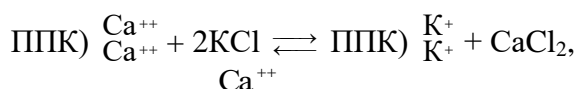
чина является отрицательным логарифмом, калийный потенциал служит универсальным и сравнительно постоянным показателем для каждого типа почвы.

Согласно принятой градации, величина калийного потенциала в интервале от 2,5 до 2,9 свидетельствует о недостатке калия в почве для нормального развития растений, значения 1,8–2,2 соответствуют оптимальным условиям, менее 1,5 – указывает на относительный избыток этого элемента. Калийный потенциал может использоваться для диагностики калийного питания растений и при разработке рекомендаций по внесению удобрений.

Для характеристики калийного режима почв кроме содержания подвижного (обменного) калия большое значение имеет такой дополнительный показатель, как степень насыщенности поглощающего комплекса калием в процентах от емкости катионного обмена (ЕКО). Это позволяет контролировать содержание подвижных форм калия в почве на уровне необходимом для формирования заданных урожаев, и избежать потерь калия от вымывания осадками на легких почвах.

По данным И. М. Богдевича, оптимальными уровнями насыщенности гумусового горизонта калием от емкости катионного обмена являются: для суглинистых почв – 4,0 – 5,0, супесчаных – 3,5 – 4,0 и песчаных – 3,0 – 3,5 %. На супесчаных и песчаных почвах насыщение гумусового горизонта обменным калием не должно превышать 3,5 – 4,0 % от ЕКО, ибо калий «течет» вниз по профилю.

2. Все калийные удобрения хорошо растворимы в воде. При внесении в почву они быстро растворяются и на основе обменных реакций вступают во взаимодействие с почвенным поглощающим комплексом:



Часть калия удобрений поглощается почвой в результате необменного поглощения.

Калий и другие катионы (Na^+ , Mg^{2+}), входящие в состав калийных удобрений, поглощаются коллоидной частью почвы, а хлор остается в почвенном растворе и поэтому легко вымывается. В поглощенном состоянии снижается подвижность калия и тем самым предотвращается его вымывание. Исключение составляют песчаные и супесчаные почвы, имеющие малую емкость поглощения. Обменно поглощенный почвой калий удобрений легко доступен растениям. Коэффициент использования калия из минеральных удобрений – 60 – 70 %.

На почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава калийные удобрения вносят осенью под зяблевую вспашку. В этом случае они попадают во влажный слой почвы, где развивается основная масса корней, поэтому калий лучше усваивается растениями. На легких почвах, особенно в годы с большим количеством осадков, когда наиболее вероятно вымывание калия, удобрения целесообразно вносить весной под культивацию. Это же относится и к торфяным почвам с неотрегулированным водным режимом.

Все калийные удобрения – физиологически кислые соли, но кислотность их меньше, чем аммонийных удобрений, и проявляется только при длительном применении под культуры, потребляющие большое количество калия (гречиха, корнеплоды, картофель, овощи). Катионы K^+ и Na^+ , содержащиеся в калийных удобрениях, поглощаясь почвой, вытесняют из нее эквивалентное количество катионов Ca^{2+} или H^+ и Al^{3+} (на кислых почвах), а ионы H^+ и Al^{3+} подкисляют почвенный раствор, увеличивают содержание в ней алюминия. Сильное подкисление происходит только при систематическом внесении вы-

соких доз удобрений, особенно с низким содержанием калия, на почвах, не насыщенных основаниями. Чтобы предупредить отрицательное влияние калийных удобрений, на этих почвах необходимо проводить известкование.

Фиксированные катионы калия менее доступны растениям, а в некоторых случаях и вовсе недоступны. Необменное поглощение (фиксация) калия удобрений составляет от 14 до 82 %. Необменное поглощение калия свойственно глинистым минералам монтмориллонитовой группы и группы гидрослюд, имеющим трехслойную разбухающую решетку. Поэтому размер фиксации калия почвами в сильной степени зависит от их минералогического состава: чем больше в почве содержится минералов монтмориллонитовой группы и гидрослюд, тем сильнее фиксация калия. Песчаные и супесчаные почвы калия фиксируют меньше, чем средне- и тяжелосуглинистые.

Механизм фиксации следующий: катионы проникают в межпакетные пространства, когда они имеют наибольшие размеры (в состоянии набухания), и в сетке кислородных атомов тетраэдрических слоев занимают гексагональные пустоты, притягивая к себе оба отрицательно заряженных кислородных слоя, в результате чего оказываются в замкнутом пространстве. Высушивание почвы, особенно чередующееся с увлажнением, может значительно усиливать процессы фиксации калия. Поэтому калийные удобрения не целесообразно вносить в верхний, часто пересыхающий слой почвы.

Необменное поглощение калия почвой из крупнокристаллических и гранулированных калийных удобрений меньше, чем из мелкокристаллических, примерно на 20–30 % ввиду меньшей поверхности контакта.

От формы калийного удобрения величина фиксации калия практически не зависит. При внесении высоких доз калийных удобрений абсолютное количество фиксированного почвой калия возрастает, а относительное – снижается. При длительном систематическом внесении калийных удобрений в почве повышается содержание и обменных, и необменных форм калия. При этом количество обменного калия увеличивается быстрее, чем водорастворимого.

Растения могут использовать все формы соединений калия почвы, но в разных количествах. В опыте, который продолжался 101 год (Англия), на суглинистой почве растения вынесли с урожаем в 3–4 раза больше калия, чем содержалось его в обменной форме. Эти и множество других данных подтверждают возможность использования растениями необменных форм поглощенного калия.

Характер взаимодействий калийных удобрений с почвенным поглощающим комплексом свидетельствует об очень слабой миграции калия по почвенному профилю, за исключением песчаных и супесчаных почв. Как правило, на почвах среднего и тяжелого гранулометрического состава обменный калий удобрений не выщелачивается ниже слоя 40–60 см, т.е. остается в корнеобитаемом слое. Очень слабая миграция калия – вторая причина, почему калийные удобрения нельзя заделывать в самый верхний слой почвы, так как корневая система уходит в поисках влаги в более глубокие горизонты. По этой же причине калийные удобрения при подкормках чаще всего бывают менее эффективны, чем при разовом внесении всей дозы до посева.

3-4. Использование калийных удобрений на бедных калием дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава и торфяных почвах обычно дает значительные прибавки урожая всех сельскохозяйственных культур.

При определении норм калийных удобрений принимают во внимание тип и гранулометрический состав почв, содержание в них подвижных форм калия, условия увлажнения, биологические особенности сельскохозяйственных культур, величину планируемого урожая и его качество. Одним из важнейших условий хорошего действия калийных удобрений является достаточная обеспеченность растений другими элементами питания, прежде всего азотом и фосфором. Средние нормы калийных удобрений для большинства сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах – 60 – 90 кг/га. Для куль-

тур с повышенной потребностью в калии (свекла, картофель, плодовые и овощные) нормы калийных удобрений увеличивают до 90 – 150 кг/га. На торфяных хорошо окультуренных почвах нормы калийных удобрений составляют: под зерновые и зернобобовые – 90 – 150 кг/га, пропашные, технические и овощные – 150 – 180, многолетние и однолетние травы – 120 – 150 кг/га.

Наиболее рациональная схема применения калийных удобрений должна предусматривать внесение основных доз калия на 120 – 140 % от выноса с урожаями на слабообеспеченных по содержанию подвижного калия почвах (менее 140 мг/кг), на почвах с высоким содержанием калия (более 300 мг/кг) вынос калия целесообразно компенсировать на 50 %, а с повышенным (141 – 300 мг/кг) – на 100 %.

На связных почвах всю норму калийных удобрений целесообразно вносить с осени под плуг при зяблевой вспашке и не проводить подкормок (за исключением небольшой дозы в рядки под некоторые культуры). При осеннем внесении хлорсодержащих калийных удобрений хлор вымывается из корнеобитаемого слоя почвы осенне-весенними осадками и не оказывает отрицательного влияния на хлорофобные культуры.

Если с осени калийные удобрения внести не удалось, их вносят под глубокую культивацию рано весной, но в этом случае хлорсодержащие удобрения могут оказать отрицательное влияние на урожайность чувствительных к хлору культур. Только на песчаных и супесчаных, а также торфяных и пойменных почвах из-за опасности вымывания не только хлора, но и калия, калийные удобрения следует вносить весной. На легких почвах, особенно орошаемых, целесообразно часть калийных удобрений вносить в подкормку пропашных культур.

Более требовательны к калию овощные, корнеплоды, картофель, плодовые и силосные культуры. Под эти культуры и следует вносить калий в первую очередь. Однако плодовые, ряд овощных (особенно закрытого грунта), гречиха, картофель, лен и некоторые другие культуры нуждаются в бесхлорных калийных удобрениях. Лучшей формой калийных удобрений для них является сернокислый калий. При осеннем внесении хлорсодержащих калийных удобрений отрицательное влияние хлора, как отмечалось, исключается.

Для сахарной свеклы, кормовых корнеплодов первостепенное значение имеют калийные удобрения, содержащие наряду с калием натрий (калийная соль). Натрий усиливает отток углеводов из листьев в корни, что способствует увеличению содержания в них сахара.

На известкованных почвах, особенно для льна и картофеля, требуются более высокие (на 20%) нормы калийных удобрений из-за антагонизма между ионами калия и кальция при поступлении их в растения.

Использование растениями калия из калийных удобрений в год внесения составляет от 12 до 50% в зависимости от культуры и почвенно-климатических условий. Результативно совместное внесение органических и минеральных калийных удобрений. Важно помнить, что на почвах, бедных азотом и фосфором, одни калийные удобрения не дают должного эффекта.

Важным условием эффективного применения калийных удобрений является хорошая обеспеченность растений азотом и фосфором. На почвах, бедных азотом и фосфором, одни калийные удобрения не дают должного эффекта.

Калийные удобрения повышают урожайность зерновых культур, озимого и ярового рапса на 2 – 3 ц/га. Окупаемость 1 кг K_2O зерновыми культурами составляет в среднем 3 – 5 кг зерна.