

О СОСТАВЕ ПИТАТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

Необходимо различать две стороны вопроса:

- избирательную способность растений по отношению к ионам питательного раствора как базу для создания оптимального питательного раствора;
- состав и содержание питательного раствора.

В морской воде содержание солей составляет 3,5%, т.е. 35 г соли на литр, из них 600 миллиэквивалентов (мэ) хлоридов, 450 мэ натрия, 165 мэ магния, 55 мэ сульфатов и только 20 мэ кальция и 10 мэ калия. Фосфат- и нитрат-ионы присутствуют в небольших количествах. Тем не менее морская трава обладает строгой избирательной способностью по отношению к ионам и благодаря этому полностью избегает поглощения хлоридов и натрия из окружающей среды, содержащей 600 мэ хлоридов и 450 мэ натрия на литр. Содержание кальция, калия, фосфора и азота в морской траве соответствует норме, в то время как окружающая среда содержит 10 мэ калия и 20 мэ кальция в литре, а фосфор и азот в виде следов.

Уникальная избирательная способность морской травы дает ей возможность выжить. Это чудо природы, естественный результат эволюции. Однако, если мы используем морскую воду в качестве питательного раствора для культуры гвоздики, помидоров или пелларгонии, растения скоро погибнут. В природе эти растения не развили в себе этой уникальной избирательной способности.

Тем не менее все растения имеют строгую избирательную способность по отношению к ионам. Стоит только посмотреть на наши сады, парки, лужайки и мы увидим, что на одном и том же участке почвы, при одинаковом удобрении и условиях, множество

^к А.Стейнер, генеральный секретарь Международного общества по беспочвенной культуре растений (Нидерланды), будучи гостем института в мае 1987г., прочитал лекцию, которая, с его согласия, публикуется в этом номере.

растений растут хорошо, причем как дубы, так и розы, гвоздики, помидоры и зеленые культуры. Все эти растения хорошо растут в одинаковых условиях питания. Только проведя химический анализ этих растений, мы увидим серьезные различия в химическом составе, даже в составе молодых и старых растений одного вида. Типичный пример - столовый сельдерей. Более молодые растения содержат больше кальция и меньше калия, чем старые, потому что они поглощают кальций и меньше калия. Молодые же помидоры содержат намного больше калия и меньше кальция, чем старые. Иногда же молодые и старые растения содержат одинаковое количество калия и кальция, но и в этом случае проявляется их избирательная способность.

Мы уже знаем, что растение никогда не выбирает один определенный элемент. При поглощении растения избирают ионы в определенной пропорции между элементами, т.е. в основном между катионами калия, кальция и магния, а также между анионами - нитратами, фосфатами, сульфатами. Только некоторые растения выработали в себе избирательную способность к аммонийному азоту. Почему другие ее не выработали? В почве обычно нет свободного аммония, он всегда прочно связан с частицами почвы, это значит, что в течение всей вегетации растение не "контактирует" со свободными ионами аммония.

При превращении этих ионов нитрифицирующими бактериями в нитратные, азот становится доступным для растений. Некоторые растения, особенно злаковые, развили сильную избирательность к аммонiu, например, рис на затопленных полях в Индонезии. Среди наших обычных овощных, томаты очень неразборчивы к аммонiu, результатом чего является спонтанное поглощение аммония с водой, что приводит к токсикации: огурцы более "разумны", они в определенной мере избегают аммония.

Я повторяю, что растения никогда не избирают определенное количество отдельно взятого иона, они избирают определенное соотношение между некоторыми катионами, в основном, между катионами калия, кальция и магния, а также нитратами, фосфатами, сульфатами. Мы знаем об этом явлении благодаря исследованиям бельгийского профессора Смесса в 40-50-х гг. и моим исследованиям в 50-60-х гг. Чтобы полностью объяснить

аудитории это явление, потребуется отдельная лекция.

Достаточно сказать, что в питательный раствор мы не вольны влить большое количество ионов. Причина в том, что для хорошего развития растений мы должны обеспечить определенную общую концентрацию ионов, осмотическое давление, выражаемое электропроводностью в мСм, ЕС. Если какое-то растение в определенных условиях хорошо растет при электропроводности 2 мСм, мы можем добавить калий только если уменьшим концентрацию других катионов, например, кальция и магния, в противном случае электропроводность возрастет. Это также вынуждает нас сохранять определенную пропорцию между катионами, так же как и между анионами. Можно, исходя из определенной, неизменной концентрации ионов и электропроводности, дать растению более высокие концентрации нитрата, только если уменьшить концентрации сульфатов или фосфатов.

Еще существует серьезное непонимание явления избирательности ионов, того, что в питательном растворе, к примеру, должно быть определенное соотношение между нитратами и калием. Я обращаю ваше внимание на то, что при большем количестве нитратов и меньшем количестве калия формируется иное отношение нитрат/калий, что приводит к большему количеству нитратов против меньшего количества сульфатов или фосфатов и к меньшему количеству калия против большего количества кальция и магния. Мы должны учесть, что растение может избрать только "желаемое" соотношение между катионами калия, кальция и магния и "желаемое" соотношение между отдельными анионами - нитратами, фосфатами и сульфатами, но, конечно, не может избрать определенные соотношения между катионами и анионами, как калия и нитрата, например.

В морской воде трава избирает калий из чрезвычайно высокого соотношения натрия/калий и при этом полностью избегает поглощения натрия. Насколько развита избирательная способность нормального растения? Иными словами, каково отношение между ионами нормальной культуры, способной поглотить их в необходимых пропорциях?

Мы установили, что в питательном растворе соотношение катионов от общего их количества должно составлять:

для калия - между 10 и 65%,

для кальция - 15-65%

для магния - 5-30%.

Здесь мы сталкиваемся с проблемой сравнения разных порций. Будет проще, если мы представим соотношение между тремя величинами на рисунке, в одной точке.

На рис.1 показано соотношение между миллиэквивалентами нитратов, фосфатов и сульфатов, равное 60 : 5 : 35 в точке внутри треугольника.

На рис.2 показано соотношение миллиэквивалентов калия, кальция и магния, равное 45 : 35 : 15.

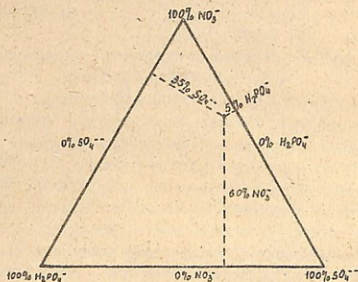


Рис.1. Соотношение между анионами в эквивалентах в универсальном питательном растворе Стейнера

Эти два треугольника можно наложить друг на друга, как это сделано на рис.3, где сплошные линии представляют соотношение между анионами, как на рис.1, а пунктирные - только соотношение между катионами, как на рис.2.

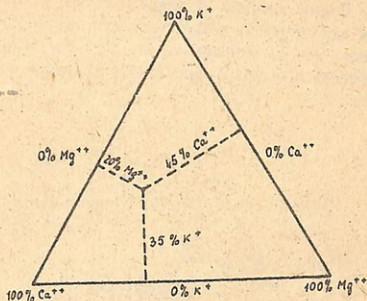


Рис.2. Соотношение между катионами в эквивалентах в универсальном питательном растворе Стейнера

Вместо списка лимитов для каждого катиона в процентах от общего количества катионов, мы можем представить лимиты внутри треугольника, как на рис.4. Здесь представлены площади, благоприятные как для катионов, так и для анионов. Контур этих площадей определяются частично комбинациями солей, частично - физиологическими влияниями. После долгих опытов мы нашли малую площадь в центре обоих контуров, которая более благоприятна для выращивания томатов, латука, огурцов, гвоздики, хризантемы. В этом контуре мы выбрали точку, отмеченную на рис.4 крестиком для катионов и кружочком для анионов. Соединение двух точек - основа универсального раствора. Позже я поясню, как я вычислил состав питательного раствора исходя из этого рисунка.

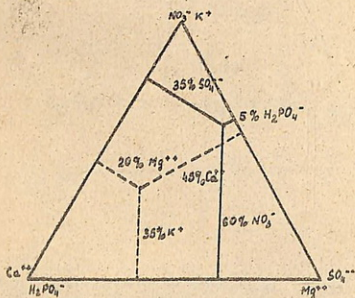


Рис.3. Соотношение анионов и соотношение катионов в растворе Стейнера, сведенные в одном треугольнике: сплошная линия - анионы; пунктирная - катионы

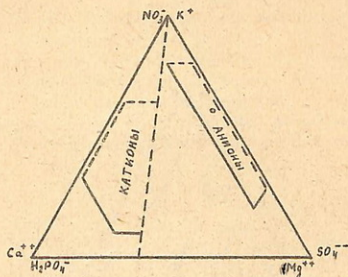


Рис.4. Состав универсального раствора Стейнера (о или х) и области, благоприятные для производства растений: сплошная линия - лимиты осаждения при осмотическом давлении 0,7 атм и $pH = 6,5$; пунктир - физиологические лимиты

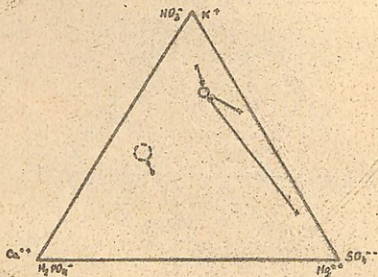


Рис.5. Влияние соотношения анионов в эквивалентах в растворе на соотношение поглощения корнями: x - соотношение анионов в растворе; $\square$ - соотношение катионов в растворе; o - содержание ионов в растениях; сплошная линия - анионы; пунктир - катионы

Сначала я должен показать, что растения действительно могут поглощать ионы в необходимом для них количестве. На рис. 5 приведено 3 состава питательного раствора, все с одинаковым соотношением между катионами (квадрат), но абсолютно разными соотношениями между анионами (3 крестика). В этих растворах выращивали помидоры. В течение вегетации состав раствора был постоянен и ежедневно освещался. Через 5 месяцев произвели анализ растений для выяснения соотношений между катионами в растениях; результаты представлены на рисунке пунктирным кружочком для катионов и сплошным — для анионов. Результаты подтвердили строгую избирательную способность томатов по отношению к анионам.

На рис. 6 видим тот же результат, но для катионов. В этом случае все растворы имели одинаковое соотношение анио-

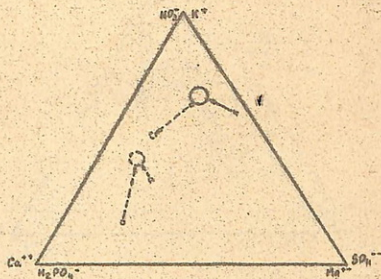


Рис. 6. Влияние соотношения катионов в эквивалентах в растворе на соотношение поглощения корнями: x — соотношение анионов в растворе; □ — соотношение катионов в растворе; o — содержание ионов в растениях; сплошная линия — анионы; пунктир — катионы

нов (крестик), но совершенно разное соотношение катионов (3 квадрата). В этом случае также соотношение между поглощенными анионами находится в пределах верхнего круга. Соотношение между катионами в растениях на растворах с низким процентным содержанием калия было в пределах нижнего круга. Только в растворе с особенно высоким содержанием калия (точка вне контура) растение не могло полностью поглотить необходимое количество катионов. Но и в этом случае продуктивность ниже только на 5%.

Растения поглощают ионы не в одинаковом соотношении в течение вегетации, как я уже показал ранее на примере томатов и сельдерея.

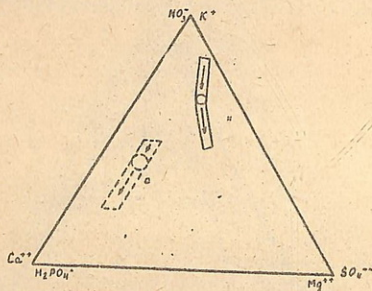


Рис. 7. Соотношение поглощения ионов в эквивалентах в зависимости от фазы роста томатов:
 х — соотношение анионов в растворе;
 □ — соотношение катионов в растворе;
 о — содержание ионов в растениях; в контурах-соотношение поглощенных ионов; сплошная линия — анионы; пунктир — катионы

На рис.7 кружками показано соотношение, основанное на общем поглощении в течение всей вегетации томатов. Мы видим, что более взрослое растение поглощает больше фосфатов, сульфатов за счет нитратов и больше кальция за счет калия; процент поглощаемого магния постоянен в течение всей вегетации.

Общая концентрация ионов значительно влияет на соотношение ионов, поглощаемых растением (рис.8).

Интенсивность света и температура меньше влияют на соотношение ионов (рис.9 и 10).

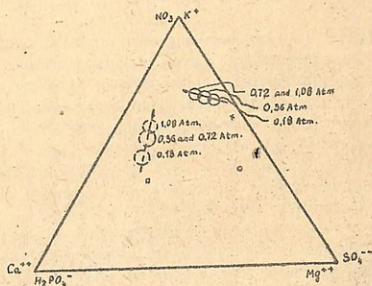


Рис.8. Влияние осмотического давления питательного раствора на соотношение поглощения ионов в эквивалентах корнями: x — соотношение анионов в растворе; □ — соотношение катионов в растворе; o — соотношение ионов в растениях; сплошная линия — анионы; пунктир — катионы

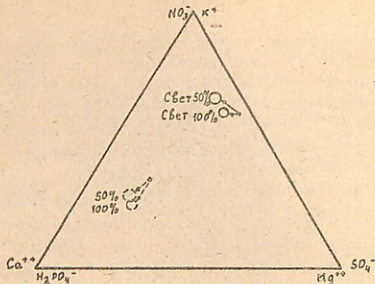


Рис. 9. Влияние интенсивности света на соотношение поглощения ионов: х - соотношение анионов в растворе; □ - соотношение катионов в растворе; о - соотношение ионов в растении; сплошная линия - анионы; пунктир - катионы

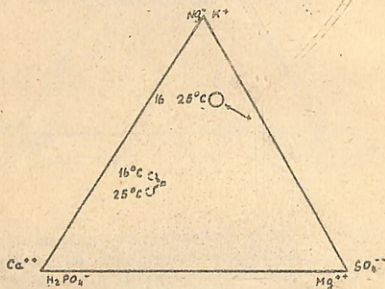


Рис. 10. Влияние температуры на соотношение поглощенных ионов: х - соотношение анионов в растворе; □ - соотношение катионов в растворе; о - соотношение ионов в растениях; сплошная линия - анионы; пунктир - катионы

Состав питательного раствора, его обработка

На первый взгляд кажется простым делом составить адекватный раствор для каждого вида растений. Благодаря анализам нам известно соотношение ионов, поглощаемых растением. Единственное, что нужно сделать - составить питательный раствор, в котором ионы содержатся в том же соотношении, в котором они поглощаются растением. Однако вряд ли это осуществимо, потому что большинство растений поглощают ионы в соотношениях, выходящих за рамки очерченной площади (рис.4).

Зная избирательную способность растений можно предположить, что каждое из них будет хорошо расти вне зависимости от количества калия, кальция, магния, нитрата, фосфата, сульфата в питательном растворе, если только мы будем поддерживать оптимальное соотношение между ионами, как показано на рис.4. Когда мы используем раствор, удовлетворяющий этим требованиям, например универсальный питательный раствор, растения растут хорошо. Можно предложить и другой "рецепт" с соотношением ионов, лежащим в пределах контура на рис.4. Растения поглощают ионы не в тех соотношениях, в каких они содержатся в растворе, следовательно, состав питательного раствора будет меняться. Если, например, поглотится относительно больше кальция, чем калия, мы отметим сдвиг отношения K/Ca в сторону увеличения калия, оно выйдет за рамки контура, очерченного на рисунке, произойдет замедление роста.

Можно справиться с проблемой, часто меняя раствор, например, дважды в день, вместо однократной замены раствора в неделю. Однако полное ежедневное или еженедельное обновление питательного раствора для промышленной культуры не годится, экономически нецелесообразно выбрасывать с раствором большое количество питательных элементов, что может привести и к загрязнению окружающей среды.

Самый простой путь поддержания состава питательного раствора - это систематическое или по крайней мере частое добавление концентрированного раствора с тем, чтобы поддерживать исходную общую концентрацию, например, при электропроводности 2 ед. При этом необходимо добавлять концентрированный раствор с более или менее благоприятным соотношением ионов. При этом в исходном растворе сохраняется желательное

соотношение между анионами и желательное соотношение между катионами. Логично, что мы добавляем только те ионы и в той пропорции, в какой они поглощаются из раствора растениями.

Очень соблазнительна возможность покупать для этой цели смесь, изготовленную заводским путем. Множество фирм предлагают свои составы и рекламируют их — это хороший бизнес. Но для практиков это невыгодно и не всегда приводит к хорошим результатам. В чем же причина? Добавка ионов в процессе использования растворов должна производиться с учетом их поглощения растениями. А это разные количества солей для томатов, огурцов, гвоздики и др. Более того, для большинства растений избирательность и интенсивность поглощения ионов изменяются также и в зависимости от стадии роста, что было показано ранее.

Это значит, что для каждой культуры, даже при разделении периода вегетации на отдельные стадии и с учетом климатических изменений, необходимо иметь специфические, заранее приготовленные питательные растворы, в противном случае растение поглотит больше ионов одного типа из питательного раствора и будет наблюдаться дефицит этих ионов в растворе; другое растение поглотит совершенно иной ион.

Вот почему, несмотря на наличие более 2300 га гидропоникумов в Голландии, я думаю, что не найти ни одного практика, использующего фабричный состав только потому, что он подходит его культуре и климатическим условиям.

В принципе нетрудно подобрать "рецепт" для добавки в течение вегетации. Нужно только знать, в каких пропорциях каждая культура поглощает ионы в определенных климатических условиях в тот или иной период. Анализы хорошего урожая учат нас подбирать правильные пропорции. Аналитические исследования раствора позволяют определить оптимальные соотношения для пополнения растворов. Это несложные исследования, с их помощью в Голландии мы установили состав добавок, в которых нуждаются томаты, огурцы, латук, перец, хризантемы, розы, кумбидиум и другие. Практики используют их, добавляя в состав следующие соли: нитрат кальция, нитрат калия, сульфат калия, сульфат магния или, если нужно, нитрат магния и др. Фосфор, в основном, подается в виде фосфорной кислоты,

которая часто необходима и для поддержания pH, но иногда добавляется и гидроксид калия; железо и типичные микроэлементы также входят в состав этих добавок.

Обычно готовят два концентрированных раствора, один содержит кальций, другой - все фосфаты и сульфаты, чтобы не образовался осадок фосфата кальция или сульфата кальция. Для того, чтобы довести ЕС питательного раствора до 2, необходимо к каждому 100 л рабочего раствора добавить 1 л концентрированного.

Для уточнения состава питательного раствора каждые две недели производится его анализ. Основываясь на аналитических результатах, экспериментальная станция советует прополнить использование питательного раствора или добавить к нему то или иное количество удобрений.

При методе водной культуры, например NFT, для анализов берется циркулирующий раствор. При выращивании растений в системе "роквул", самой распространенной в Голландии, где растения орошаются капельным методом, анализируется раствор, выжатый из мата.

Завершая лекцию, хочу представить вам таблицу расчета питательного раствора. В качестве образца приведен разработанный мною универсальный питательный раствор с электропроводностью, равной 2.

мг/л	NO_3 12	H_2PO_4 1	SO_4 7	K 7	Ca 9	Mg 4
KH_2PO_4		1		1		
MgSO_4			4			4
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	9				9	
KNO_3	3			3		
K_2SO_4			3	3		
	12	1	7	7	9	4
	эквив. вес	мг/л			мг/л	
KH_2PO_4	136	1			136	
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	123	4			492	
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	91	9			819	
KNO_3	101	3			303	
K_2SO_4	87	3			261	

Это одна из возможностей.

В некоторых странах KNO_3 и KH_2PO_4 недоступны, вместо них используются $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ и $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$. В этом случае мы будем иметь аналогичный состав в четырем солями вместо пяти.

мг/л	NO_3 12	H_2PO_4 1	SO_4 7	K 7	Ca 9	Mg 4
$Ca(H_2PO_4)_2$		I			I	
$Mg(NO_3)_2$	4					4
$Ca(NO_3)_2$	8				8	
K_2SO_4			7	7		
	12	I	7	7	9	4
	эквив. вес		мг/л	мг/л		
$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$	126	I	126			
$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	128	4	512			
$Ca(NO_3)_2 \cdot H_2O$	91	8	728			
K_2SO_4	87	7	609			

Я привел расчеты для макроэлементов, необходимы расчеты и для микроэлементов.

Ա.Ատեյներ

Սննդարար լուծույթի կազմի մասին

Բերված են տվյալներ սննդարար լուծույթի իոնների նկատմամբ բույսերի ընտրողականության վերաբերյալ:

Ընդգծված է, որ կատիոնները և անիոնները կլանվում են բույսի կողմից որոշակի հարաբերությամբ՝ ինչպես կալիում, կալցիում և մագնեզիում կատիոնների, այնպես էլ ֆոսֆատներ, նիտրատներ և սուլֆատներ անիոնների միջև:

Հիմնավորված են ունիվերսալ սննդարար լուծույթներ կազմելու հիմունքները, բերված է 2 այդպիսի լուծույթների կազմը:

A.Steiner

THE COMPOSITION OF NUTRIENT SOLUTION

The article discussed the selective capacity of plants for ions in a nutrient solution. It is underlined that cations and anions are absorbed by plants in certain ratio between K^+ , Ca^+ , Mg^+ and mutual ratio of the anions of nitrates, phosphates, sulfates.

The principles of nutrient solution formation are given.