УДК 631.41

Сорбционные свойства корневых систем как критерий корректировки моделей плодородия почв

Савич В.И.¹, Белопухов С.Л.¹, Гукалов В.В.², Ефимов О.Е.¹, Бородин К.С.¹

¹РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

²Северо-Кубанская с/х опытная станция

Аннотация

В работе оценены сорбционные свойства корневых систем проростков риса, пшеницы, овощных и плодовых культур, сорняков в почвах оптимального увлажнения при орошении и при развитии анаэробнозиса. Показано, что разные виды культур и сорта отличаются по сорбционным свойствам корней, что необходимо учитывать при корректировке оптимальных свойств почв и доз удобрений.

Так, отношение Ca/Fe в равновесном питательном растворе составляло: под сортом риса «Лиман» – 72,6; под сортом «Спальчик» – 165,0; под сорняком просянка – 222, под сорняком клубнекамыш – 720. Отношение Mg/Ca , Ca/Mn и Ca/Zn в равновесном питательном растворе Кнопа (1:1) после выращивания проростков составляло, соответственно: под цветной капустой – 17,4; 300,0 и 17,2; под ранней белокочанной – 6,6; 53,9 и 8,7.

Доказывается, что сорбционные свойства корневых систем видов и сортов растений необходимо учитывать при корректировке оптимумов свойств почв и систем удобрений под планируемый урожай, при фитомелиорации почв.

Ключевые слова: КОРНИ, СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА, МОДЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ, СИСТЕМА УДОБРЕНИЙ

Цели исследования

Целью исследования являлась оценка отличия сорбционных свойств корневых систем разных культурных растений и сорняков, растений, развивающихся при аэробных и анаэробных условиях, при развитии почвоутомления, оценка изменения сорбционных свойств корневых систем у разных сортов культурных растений.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования выбраны проростки и молодые растения, саженцы плодовых и древесных культур, развивающихся на автоморфных почвах, при развитии оглеения и в условиях орошения [1, 2, 3].

В проведенных нами исследованиях оценивалось поглощение биофильных элементов корневыми системами проростков из питательных растворов и суспензий почв [4, 5, 6].

Показана перспективность использования для оценки сорбционных свойств корневых систем растений следующих методов:

- 1) сравнение свойств почв и прикорневой зоны растений;
- 2) анализ поглощения элементов корнями из питательного раствора;
- 3) анализ поглощения растениями элементов питания из суспензии почв 1:2; 1:5;
- 4) анализ поглощения корневыми системами растений элементов из катионитов и анионитов, насыщенных биофильными элементами;
- 5) поглощение корнями растений элементов из суспензии почв, промывка корней водой и оценка поглощения растениями недостающих для них элементов из питательного раствора;
- 6) оценка поглощения корнями из почв положительно и отрицательно заряженных комплексных соединений;
- 7) оценка поглотительной способности корней в разном возрасте растений и поглощение биофильных элементов из разных горизонтов;
- 8) расчет поглотительной способности корней в мг-экв/100 г на единицу поверхности корней, почв и корней.

По полученным данным, поглотительная способность корней растений изменяется в зависимости от pH, Eh, ионной силы субстрата, температуры, условий освещения.

При внесении сорбатов в суспензию почв поглотительная способность корней растений изменялась в зависимости от последовательности внесения разных сорбатов, от проявления комплексообразования, в связи с эффектами синергизма и антагонизма в поглощении совместно катионов и анионов и при конкуренции поглощения между отдельными катионами или отдельными анионами.

Принятый уровень вероятности $P = 0,95$.

Экспериментальная часть

1. Теоретические закономерности изменения сорбционных свойств корневых систем растений

Отдельные виды сельскохозяйственных культур и сорта резко отличаются по поглотительной способности корневых систем, требованиям к питательному режиму в течение вегетации, имеют неодинаковую устойчивость к загрязнению. Отсутствие поправок на этот фактор приводит к ошибкам при разработке систем удобрений и к снижению эффективности систем земледелия.

Поглотительная способность корневых систем растений зависит от свойств почв и факторов внешней среды [4, 7, 8, 9]. При понижении температуры до 10-11 ° растения испытывают недостаток в фосфоре, а при 3° – не в состоянии использовать азот нитратов. Имеются данные о том, что при повышении температуры растения поглощают больше оснований (K, Ca, Mg), усиливается поглощение K над Ca [5]. При повышении влажности почв в сорбционные места почвенного поглощающего комплекса легче входят 2-хвалентные катионы, по сравнению с одновалентными, а из равновалентных – ионы с меньшей энергией гидратации [1, 2]. При подкислении среды увеличивается базоидность почв и прочность связи анионов с почвой. На отрицательно заряженных сорбционных местах почвенного поглощающего комплекса с сильным электростатическим полем более предпочтительна сорбция многовалентных катионов, а среди них – катионов меньшего размера.

По данным Журбицкого З.И. [5], у различных растений отличается требовательность к катионам, по сравнению с анионами. У злаков отмечается особенно большой избыток анионов над катионами. По данным автора, при низком уровне калия в почве виды с низкой катионообменной способностью корней (злаки) поглощали больше этого элемента, чем виды с высокой катионообменной способностью корней (например, бобовые).

Поглощение ионов растениями различается в зависимости от величины гравитационного поля. При большей величине гравитационного поля корневая система растений развивается более интенсивно. При этом отток ионов из корней в листья затруднен.

Поглощение растениями биофильных элементов отличается в зависимости от электрического поля. Атмосфера заряжена положительно, почва – отрицательно. При

большей высоте растений поглощение ими анионов увеличивается. В значительной степени поглощение отдельных ионов корневыми системами растений отличается для теневыносливых и светолюбивых растений в зависимости от освещенности.

Селективность корневых систем растений к поглощению биофильных элементов определяется емкостью поглощения корней, величиной и плотностью заряда отдельных сорбционных мест, скоростью поглощения и скоростью оттока элементов из корней в исследуемые органы. Согласно данным Журбицкого З.И. [5], поглощение анионов в мг-экв на 100 г катионов составляет для пшеницы 530, для кукурузы – 220, для клевера – 130, для моркови кормовой – 59.

При этом емкость поглощения катионов корнями отдельных культур колеблется от 9 до 190 мг-экв на 100 г сухих корней. С нашей точки зрения, эти показатели будут зависеть от совокупности и взаимосвязей свойств почв, фазы развития растений, гидротермических условий территории и локального периода времени.

При этом отдельные катионы и анионы поглощаются корневыми системами видов и сортов растений селективно. Это определяет устойчивость различных сортов к засухе, засолению, загрязнению тяжелыми металлами и т.д. Можно вывести сорт, который поглощает корневыми системами свинец, но не передаст его в надземные органы или в продукцию. Однако в большинстве случаев это не учитывают [3].

Очевидно, что поглощение ионов корневыми системами растений из питательных растворов и суспензий почв зависит от площади корневых систем, и более правильно оценивать разницу в селективности корневых систем к определенным ионам по соотношению поглощенных ионов. При этом селективность поглощения отдельных ионов корневыми системами отдельных растений меняется в зависимости от сочетания свойств почв.

2. Изменение свойств почв в прикорневой зоне растений как показатель сорбционных свойств их корневых систем

Изменение свойств почв в прикорневой зоне растений также является индикатором сорбционных свойств корневых систем выращиваемых растений.

По полученным нами данным, в прикорневой зоне различных сортов пшеницы на каштановой почве содержалось разное количество водорастворимых соединений железа, кальция, магния. Так, под «Омской-29», «Омской-52» содержалось Ca $8,8 \pm 0,6$ мг/л и $17,7 \pm 3,8$; Fe, соответственно, – $2,1 \pm 0,6$ и $0,8 \pm 0,7$ мг/л; под люцерной: Ca – 34,0; Fe – 0,2

мг/л; под мелкоколосником: Ca – 7,7; Fe – 2,0 мг/л.

В прикорневой зоне растений под разными сортами пшеницы изменялось и соотношение в почве подвижных положительно и отрицательно заряженных соединений. Так, по полученным нами данным, под сортами пшеницы «Казахстанская-19» и «Фиолетовозерная-3» содержание отрицательно заряженных комплексных соединений магния было, соответственно, 23,6 и 20,8 мг/л; железа – 6,9 и 2,9 мг/л; содержание положительно заряженных соединений магния – 21,8 и 22,2; железа – 3,9 и 4,4 мг/л.

По полученным нами данным, особенности поглотительной способности корневых систем отмечаются и для разных сортов арахиса. Так, сорт 28-206 поглощал из питательного раствора калия на 1 г корней 1,8 относительных единиц, на 1 г стеблей – 0,6; а сорт 47-10, соответственно, – 0,5 и 0,1.

Разными сорбционными свойствами отличаются и отдельные древесные культуры. Так, по полученным нами данным, отношение Cu/Pb, поглощенных из питательных растворов корневыми системами липы, рябины и осины, составляло, соответственно, 2,5; 1,2 и 2,5; отношение Cu/Zn, соответственно, – 3,3; 3,0 и 5,0.

Селективность к биофильным элементам плодовых культур также отличается для отдельных сортов. Так, по полученным нами данным, соотношение катионов K/Ca в питательном растворе после развития на нем саженцев яблони сорта «Мечта» и «Народное» составляло, соответственно, 2,3 и 2,0; соотношение Mn/Zn, соответственно, – 0,4 и 0,09. Саженцами яблони сортов «Татьянин день» и «Красавица Москвы» было поглощено, по сравнению с контролем: $\Delta K/\Delta Ca$, соответственно, 7,9 и 19,6; $\Delta Mg/\Delta Zn$, соответственно, – 2,7 и 0,5.

3. Сорбционные свойства корневых систем растений риса и сорняков на лугово-черноземных орошаемых почвах

Корни поглощают, в первую очередь, необходимые им элементы питания. Поэтому в прикорневой зоне их будет меньше, чем в остальной массе почвы. Так, по полученным нами данным, в прикорневой зоне растений риса на лугово-черноземной почве и в остальной массе почвы содержание кальция составляло $40,9 \pm 5,3$ мкг/см² и $71,0 \pm 10,4$; железа – $293,0 \pm 13,7$ и $195,6 \pm 21,3$. При этом в прикорневой зоне растений риса, по сравнению с остальной массой почвы, менялось и соотношение катионов. Так, отношение Ca/Mg в прикорневой зоне и в остальной части почвы составляло, соответственно, 34,1 и 47,3; Fe/Ca – 7,1 и 2,7.

Поглотительная способность корневых систем культурных растений существенно отличается от поглотительной способности корневых систем сорняков. Так, по полученным нами данным, соотношение Ca/Fe в равновесном растворе сорбата – питательного раствора составляло: под сортом риса «Лиман» – 72,6; сортом «Спальчик» – 165,0; под сорняком просьянка – 222,0; под сорняком клубнекамыш – 720. Это соответствует закономерности, согласно которой сорняки на орошаемых лугово-черноземных почвах более устойчивы к недостатку кальция, чем растения риса.

Недостаток в почвах биофильных элементов уменьшает их поступление в корневую систему растений и увеличивает процент их связи в растениях в виде отрицательно заряженных комплексных соединений. Так, по полученным нами данным, в корнях и стеблях растений содержание соединений ML^- составляло в здоровых и в больных растениях риса, соответственно: Ca – 0,5 и 1,4; Fe – 0,5 и 1,4; Cu – 0,8 и 1,1.

Недостаток подвижных форм биофильных элементов в почве приводит к недостатку их в корнях, стеблях и листьях растений. Так, по полученным нами данным, в здоровых и больных растениях риса на лугово-черноземной почве соотношение $(\text{Ca} + \text{Mg}) : (\text{Fe} + \text{Mn})$ было, соответственно, равно: в почве $3,1 \pm 0,3$ и $0,5 \pm 0,1$; в корнях – $1,7 \pm 0,1$ и $1,4 \pm 0,1$; в стеблях – $1,3 \pm 0,1$ и $0,5 \pm 0,1$; в нижних листьях – $0,4 \pm 0,1$ и $0,2 \pm 0,1$; в верхних листьях – $2,5 \pm 0,1$ и $1,5 \pm 0,1$.

Поглощение элементов питания корневыми системами растений может быть идентифицировано и по химическому составу растений. Это иллюстрируется данными таблицы 1

Таблица 1. Содержание Ca , Fe в растениях риса и сорняков с рисового поля (мг/л)

Ион	Сорняки		Сорта риса	
	клубнекамыш	просьянка	Спальчик	Лиман
железо	$1,7 \pm 0,2$	$2,2 \pm 0,6$	$8,2 \pm 1,8$	$3,2 \pm 0,8$
кальций	$23,4 \pm 2,4$	$15,6 \pm 2,2$	$25,4 \pm 1,8$	$43,8 \pm 2,2$

Как видно из представленных данных, отношение поглощенных растениями кальция и железа в различных сорняках и сортах риса отличается. Так, в растениях риса сорта «Спальчик» и «Лиман» оно, соответственно, равно 3,1 и 13,7; в сорняках клубнекамыш и просьянка, соответственно, – 13,8 и 7,1.

4. Изменение свойств почв при развитии почвоутомления под пшеницей как показатель сорбционных свойств корневых систем пшеницы

Разные сорта растений в неодинаковой степени устойчивы к почвоутомлению. Так, по полученным нами данным, пожнивные остатки разных сортов пшеницы, выращенной на южном черноземе при развитии почвоутомления, обладали разной комплексобразующей способностью к железу, марганцу. Так, при добавлении к почве пожнивных остатков пшеницы «Кустанайская-19» в почвенном растворе растворилось $0,38 \pm 0,10$ мг/л железа, при добавлении к почве пожнивных остатков пшеницы «Омская-18» в почвенном растворе было $0,21 \pm 0,02$ мг/л Fe, а при добавлении в раствор пожнивных остатков пшеницы сорта «Фиолетовозерная-5» – $0,04 \pm 0,03$ мг/л железа.

5. Изменение прикорневой зоны растений на почвах избыточного увлажнения для растений, в разной степени адаптированных к условиям анаэробизиса

Состав прикорневой зоны растений существенно отличается от состава остальной части почв. Это позволяет оценить как показатели отдельных элементов питания в почве, так и характер и степень загрязнения, наличие в почве условий кислотно-основного и окислительно-восстановительного состояния, неблагоприятных для развития растений.

Растения, адаптированные к условиям анаэробизиса, повышают Eh в прикорневой зоне. Так, по полученным нами данным, в прикорневой зоне растений стрелолистки на дерново-глеевой почве в 2 см, 6 см и в 15 см от корня значения Eh составляли $239,2 \pm 6,5$; $89,5 \pm 14,9$ и $-25,8 \pm 2,3$ мв. В почве при большей степени развития анаэробизиса величина Eh в 2, 6 и 15 см от корня стрелолистки составляла $-86,2 \pm 2,5$; $-155,0 \pm 7,9$ и $-226,7 \pm 20,8$ мв.

По полученным нами данным, растения, в большей степени приспособленные к условиям анаэробизиса, к почвам с более низкими значениями Eh, имели большую плотность отрицательного заряда на корнях и больше поглощали K, по сравнению с NO_3 . Отношение K/NO_3 для таволги и картофеля составляло, соответственно, 0,52 и 0,27.

6. Особенности сорбционных свойств сортов овощных культур как фактор корректировки системы удобрений под них

Различные овощные культуры также обладают неодинаковыми сорбционными способностями своих корневых систем. Так, по полученным нами данным, проростки цветной капусты, по сравнению с проростками белокочанной, были более селективны к кальцию. Соотношение Ca/Fe , Ca/Mg , Ca/Zn в равновесном питательном растворе с катионитом КУ-2 после выращивания проростков цветной капусты составляло,

соответственно, 3,4; 1,6 и 0,9; а после выращивания белокочанной ранней – 10,0; 7,1 и 3,3. После выращивания белокочанной поздней, соответственно, – 11,7; 23,5 и 3,9.

Отличия в поглощательной способности корневых систем отмечались нами и при поглощении отдельными растениями свинца и калия из суспензий серых лесных почв (1 г почв + 10 мл $Pb(NO_3)_2 - 10^{-4}$ м/л) и из питательного раствора (10 мл + 10 мл $Pb(NO_3)_2 - 10^{-4}$ м/л). В качестве биологических тестов выбраны культуры огурца (сорт «Изящный-1» и «Либелла»), томата (сорт «Новинка Приднестровья-1» и «Грибовский-2»), петрушка (сорт «Листовая-1» и «Сахарная-2»).

По полученным данным, на серых лесных почвах, независимо от подтипа, растения огурца сорта 1 обладали большей поглощательной способностью к калию и свинцу, чем сорт «Либелла». Растения томата сорта 1 обладали большей поглощательной способностью к свинцу и калию, чем сорт «Грибовский-2». Растения петрушки сорта 1 обладали большей поглощательной способностью к этим элементам, чем сорт 2.

По полученным нами данным, разной поглощательной способностью обладают и растения капусты. Так, отношения Mg/Ca , Ca/Mn , Ca/Zn в равновесном питательном растворе Кнопа (1:10) после выращивания проростков составляли под цветной капустой $17,4 \pm 7,0$; $300,0 \pm 5,9$ и $17,2 \pm 11,9$, а при выращивании проростков ранней белокочанной капусты, соответственно, $6,6 \pm 1,3$; $53,9 \pm 14,5$ и $8,7 \pm 6,5$, где отношение $Mg/Ca = a \cdot 10^{-2}$, Ca/Mn и $Ca/Zn = a \cdot 10^2$.

Очевидно, что селективность к поглощению корневыми системами растений отдельных ионов будет различаться также в зависимости от прочности связи этих ионов в почвах. Так, по полученным нами данным, отношение в равновесном питательном растворе Ca/Fe после выращивания на нем проростков огурца составляло 29-42, а после выращивания проростков капусты – 35-64. В то же время при поглощении этих катионов из катионита большую поглощательную способность к Ca проявляла капуста. Отношение Ca/Fe в равновесном растворе под капустой было 6-12, а под огурцом – 12-16.

При поглощении растениями биофильных элементов в равновесном растворе при выращивании растений в нем существенно изменяется содержание как подвижных, так и водорастворимых форм. Эти изменения также являются показателями сорбционных свойств корневых систем исследуемых растений. Так, по полученным нами данным, для всех изученных почв изменение доли водорастворимого железа в равновесном растворе при выращивании проростков пшеницы составило $20,2 \pm 11,5$ %, а при выращивании

ромашки – $32,2 \pm 14,2$ %. Изменение содержания в равновесном растворе Са для данных культур, соответственно, составляло $16,6 \pm 5,9$ % и $40,2 \pm 30,4$ %.

7. Синергизм и антагонизм при поглощении корнями растений биофильных элементов

При поглощении корнями биофильных элементов и токсикантов проявляются эффекты синергизма и антагонизма: Na конкурирует с Ca, Mg с Ca, Fe с Mn и т.д., Cl с SO_4 , NO_3 с H_2PO_4 . В то же время в поглощении одновременно катионов и анионов проявляются эффекты синергизма. Более точно это прогнозируется по эффектам конкурирующего комплексобразования, конкурирующего осадкообразования и конкурирующего ионного обмена.

В связи с этим данные процессы зависят от сочетания свойств почв, в т.ч. pH, Eh, степени гумусированности.

Заключение

В результате проводимых исследований показано, что корневые системы разных видов растений и сортов существенно отличаются по селективности поглощения отдельных катионов и анионов из почв и питательных растворов. Это необходимо учитывать при уточнении систем удобрений под отдельные культуры и сорта.

При этом селективность корневых систем растений к отдельным ионам зависит от сочетания свойств почв и гидротермических условий территории, фазы развития растений, величины электрического, светового и гравитационного полей.

При поглощении корнями растений катионов и анионов проявляются эффекты синергизма и антагонизма. Знание закономерностей поглощения растениями биофильных элементов и токсикантов из почв позволит повысить эффективность систем земледелия, создаваемых биологических барьеров, фитомелиорации, обеспечит получение сельскохозяйственной продукции с заданными свойствами.

Список использованных источников

1. Савич В.И., Байбеков Р.Ф., Никиточкин Д.Н., Багомедова Г.Б. Поглощительная способность корневых систем растений как фактор корректировки моделей плодородия почв // Плодородие. – 2013. – №4. – С. 31-35.
2. Савич В.И., Трунов Ю.В., Наумов В.Д., Никиточкин Д.Н. Информационная

оценка моделей плодородия дерново-подзолистых почв и черноземов под яблоню с учетом почвообразовательных процессов // Плодородие. – 2014. – №4. – С. 26-28.

3. Трунов Ю.В. Минеральное удобрение и удобрение яблони. – Мичуринск: Научкоград РФ, 2010. – 400 с.

4. Аристархов А.И. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. – М.: ЦИНАО, 2000. – 518 с.

5. Журбицкий З.И. Физиологические и агрохимические основы применения удобрений. – М.: АН СССР, 1963. – 232 с.

6. Кошкин Е.И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур. – М.: Дрофа, 2010. – 638 с.

7. Жирмунская Н.М. Хорошие и плохие соседи на огородной грядке. – М.: Маркетинг, 1986. – 56 с.

8. Колесников В.А. Корневая система плодовых и ягодных растений. – М.: Колос, 1974. – 509 с.

9. Рубин Б.А. Физиология плодовых растений. – М., 1968, т. 10. – 326 с.

10. Никиточкин Д.Н., Савич В.И., Наумов В.Д., Байбеков Р.Ф. Модели плодородия почв под яблоню во времени и в пространстве. – М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2015. – 272 с.

Цитирование:

Савич В.И., Белопухов С.Л., Гукалов В.В., Ефимов О.Е., Бородин К.С. Сорбционные свойства корневых систем как критерий корректировки моделей плодородия почв [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №3 (45). – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/3/st_315.pdf DOI: <https://doi.org/10.51419/20213315>.