

**INFLUENCE OF FERTILIZERS ON YIELD AND ACCUMULATION
OF NITRATES IN THE FRUITS OF ZUCHININ SOD-PODZOLIC SOILS
OF DIFFERENT DEGREES OF FERTILITY**

**T. M. Seraya, E. N. Bahatyrova, Y. A. Belyavskaya, T. M. Kirdun,
O. M. Biryukova, M. M. Torchilo, N. Yu. Zhabrovskaya, I. N. Putyrsky,
G. A. Demina, E. N. Oleshuk**

Summary

On the basis of new experimental data obtained in field technological experiments, optimal systems for fertilizing zucchini cultivated on sod-podzolic soils of different degrees of fertility have been developed, providing stable yields with high fruit quality.

Varieties and hybrids of zucchini that accumulate nitrate to a lesser extent in specific soil and climatic conditions are identified.

Поступила 03.03.21

УДК 541.726:631.589:631.811

**ПИТАТЕЛЬНЫЙ СУБСТРАТ ДЛЯ РАСТЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТОВ**

**В. С. Солдатов, А. П. Езубец, В. В. Сапрыкин,
Е. Г. Косандрович, Л. Н. Шаченкова**

*Институт физико-органической химии
Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Возможность использования цеолитов в качестве носителей катионных питательных элементов для растений непосредственно следует из их химической природы и физического строения. Наиболее подходящие для этой цели природные цеолиты имеют обменную емкость до 100 м-экв/100 г и водопоглощение около 20 %. В природе они находятся в виде осадочных или вулканических туфов с содержанием основного компонента до 70 %. Известно, что внесение в питательные среды природных цеолитовых туфов (обычно упоминаемых как *цеолиты*) оказывает положительное действие на рост растений. Это может быть связано с тем, что они содержат некоторое количество подвижного калия, примеси карбонатов кальция и магния, микроэлементы. Кроме того, считается, что они улучшают агрофизические свойства почв, содействуя их разрыхлению и водоудерживающей способности. Обширная библиография по этому вопросу содержится в книге [1]. Запасы разведанных месторождений на Земле исчисляются несколькими миллиардами тонн, а их добыча составляла в 2016 г. 1,6 млн т. Они применяются преимущественно в качестве сорбентов и катализаторов в промышленности и быту. Природные цеолиты непригодны для выращивания растений, так как не

содержат всех питательных веществ, необходимых для их роста. Цеолиты разных месторождений могут сильно различаться по составу, содержанию подвижных ионов (обычно это натрий и кальций), микроэлементов и макроскопических примесей. Немодифицированные природные цеолиты не нашли широкого применения в сельскохозяйственном растениеводстве. Цеолиты, насыщенные элементами питания растений, обычно калием и/или аммонием, добавленные в питательные среды для растений, существенно улучшали рост растений. Исследования в этом направлении описаны в работах [2–10]. В статьях [11–13] сообщается о попытках получить полноценный питательный субстрат для растений из цеолитов. Недавно разработан полноценный питательный субстрат [14], присутствующий на рынке под торговой маркой ЦИОН®. Он производится в Беларуси в опытно-промышленных объемах и доступен в виде нескольких модификаций, различающихся соотношением азота и калия и рН субстратного раствора. Свойства этого субстрата исследованы недостаточно и перспективы его использования в сельском хозяйстве не ясны. Проведенные нами эксперименты [15–16] свидетельствуют о перспективности цеолитных субстратов и необходимости их систематического исследования. Настоящая статья представляет собой краткий обзор работ в этом направлении и имеет цель описать основные свойства цеолитных субстратов, чтобы привлечь внимание исследователей почвоведов и агрохимиков к новым возможностям, которые открываются при их использовании в растениеводческой практике.

Состав цеолитных субстратов

Сырьем для получения субстрата, описываемого в настоящей статье, служит ионообменный минерал группы цеолитов – клиноптилолит Холинского месторождения (Забайкальская группа, Россия). Большие месторождения подобных минералов имеются в Российской Федерации, Украине, на Кавказе и Восточно-Европейских странах. Цеолитные субстраты на 98 % состоят из химически модифицированного клиноптилолита и содержат 2 % корректирующих добавок – природных фосфатных минералов. Цеолит насыщен ионами K^+ и NH_4^+ , молярное соотношение которых (N/K) может варьировать в пределах $N/K = 0,5–4$. Процесс химической модификации цеолита состоит в замене подвижных ионов Na^+ и Ca^{2+} , преимущественно присутствующих в природном туфе, на NH_4^+ , K^+ , H^+ и катионы микроэлементов (рис. 1). Величина рН контактирующей с субстратом воды также может быть задана в процессе производства ($pH = 4,5–7,5$). Эти параметры могут меняться в соответствии с требованиями потребителя. При его истощении первый дефицит наступает по азоту и калию. Истощенный субстрат может быть регенерирован. Субстрат состоит из частиц с размером 0,7–4 мм. Частицы легко смачиваются и поглощают до 0,2 г воды на грамм сухого субстрата. Содержание основных питательных элементов в субстрате зависит от заданного значения рН контактирующей с ним поливной воды. Например, в субстрате «ЦИОН классик» ($pH = 6,5$, $N/K = 3$) содержание (д. в.) подвижных азота, фосфора и калия существенно больше, чем в других питательных средах, и составляет 6200, 2500 и 5700 мг элемента/кг соответственно. Весь азот в субстрате находится в аммонийной форме. В кислотных и буферных экстрактах из субстрата обнаруживаются все необходимые растению микроэлементы. Они могут переходить в воду

только за счет гидролиза ионных форм цеолита (K^+ , NH_4^+), ионного обмена на ионы, присутствующие в воде, контактирующей с субстратом, и ограниченной растворимости солей остальных компонентов. Концентрация и пропорции ионов в растворе соответствуют потребностям растений.

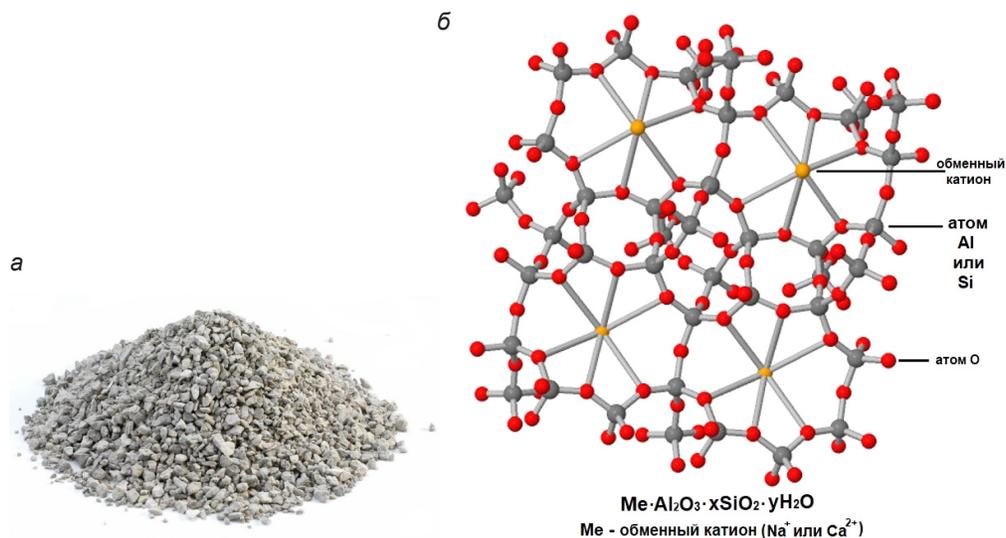


Рис. 1. Вид образца цеолита (а) и его строение (б)

Особенности цеолитных субстратов Цион

Благодаря большому аккумулированному запасу питательных веществ растения могут расти на чистом цеолитном субстрате без добавки удобрений в течение длительного времени. Считая, что ресурс автономной работы субстрата, как источника минерального питания, лимитируется содержанием азота, один килограмм субстрата в чистом виде или в смеси с различными бесплодными или питательными средами обеспечивает получение 1–5 кг общей сырой (до 1 кг сухой) биомассы в зависимости от культуры растения.

При добавке субстрата в почвы его передозировка невозможна, так как концентрация ионов в субстратном растворе постоянна и не зависит от количества субстрата, находящегося с ним в контакте. После истощения цеолита относительно ионов K^+ и NH_4^+ их запас может быть пополнен путем добавки в почву калийного и аммонийного удобрений. Эти ионы будут поглощены цеолитом, который пополнит обменный комплекс почвы и останется в ней до его физического удаления из пахотного слоя, если это явление будет иметь место. Цеолиты не являются твердыми минералами (твердость по минералогической шкале 3–5 баллов) и при интенсивном механическом воздействии в водных средах распадаются на микроскопические частицы (вплоть до полной пептизации). Известно [5, 7, 10], что положительное действие природных не модифицированных цеолитов на свойства почв наблюдается в течение 7–10 лет после его однократного внесения. Однако влияние добавки цеолитов на свойства почв не сводится только к увеличению ее поглотительного комплекса и изучено недостаточно.

Химический состав ионитных субстратов точно известен, полностью контролируем, воспроизводим и может быть целенаправленно изменен для удовлетворения требований специфических растений.

Цеолитные субстраты практически стерильны и легко могут стерилизоваться в процессе эксплуатации. Они не содержат в своем составе фитогормоны, ускорители роста, гербициды или другие химикаты, потенциально опасные для человека. Могут использоваться «как есть» или в качестве добавок в природные почвы, питательные или бесплодные грунты. При внесении в почву достаточной дозы не требуется дополнительного внесения удобрений на протяжении всего периода использования в одной или нескольких вегетациях.

Цеолиты и другие компоненты описываемых субстратов разрешены государственными санитарными службами к внесению в естественную почву. Это открывает возможности использования таких субстратов в любых отраслях растениеводства. Их применение ограничивается только экономической целесообразностью. Ограничений по наличию сырьевой базы для их производства нет. Основными потребителями субстрата в настоящее время являются индивидуальные растениеводы-любители, дачники и испытатели растениеводческих хозяйств. Для выяснения реальных возможностей, областей и масштабов использования цеолитных субстратов необходимы экспериментальные исследования разных уровней по выращиванию различных культур растений при различных вариантах использования этого субстрата. Поскольку работы по его получению и применению начаты недавно, в настоящее время не накоплено достаточного систематического доказательного материала, позволяющего однозначно рекомендовать способы его использования для различных конкретных целей.

В настоящем сообщении будет суммирован опыт, накопленный в лабораторных исследованиях при выращивании различных культур растений на различных питательных средах, содержащих цеолитный субстрат. Он может найти применение в интенсивном растениеводстве всех видов растений в особенности: улучшение свойств природных почв и искусственных грунтов для растений; выращивание рассады, адаптация черенков, при вегетационном размножении растений; комнатное и садовое растениеводство; клонирование растений в клеточных и тканевых культурах; инициация процесса почвообразования на бесплодных грунтах.

Примеры выращивания растений с использованием цеолитного субстрата

К настоящему времени в Институте физико-органической химии НАН Беларуси проведены лабораторные эксперименты по выращиванию нескольких культур растений с различными вариантами его использования. Испытания этого субстрата проведены также в сторонних организациях. Мы исследовали выращивание в лабораторных сосудных экспериментах следующих культур: салаты листовые; райграс; томаты; огурец; картофель из семени; земляника садовая; кабачок; перец сладкий; арабидопсис; бархатцы; горох. Условия проведения экспериментов: освещение – светодиодные лампы ДНБО1-4х9-001 У4.1 Светодар с отношением интенсивности излучения в красной и синей областях 4:1; фотопериод 18 часов (6:00–24:00); освещенность 5000–10 000 Лк в зависимости от культуры; температура 20–22 °С; полив водопроводной водой (г. Минск). Другие условия экспериментов сообщаются при рассмотрении конкретных примеров.

В качестве основной тест-культуры для выяснения влияния различных факторов на рост растений использовался листовая салат сорта Афицион (*Lactuca sativa*, Aficion). На этом примере было изучено влияние следующих факторов на рост растений на питательных средах, содержащих цеолитный субстрат: гранулометрический состава субстрата; влияние содержания субстрата в смесях с различными бесплодными и питательными грунтами; pH воды, контактирующей с субстратом; соотношение подвижных азота и калия в субстрате.

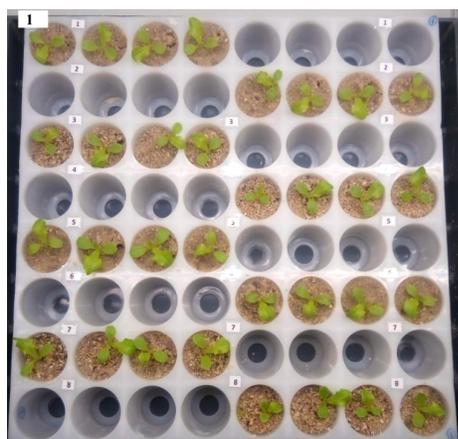
Влияние объемного процента субстрата (5–100 %) в смесях с песком или питательными коммерческими торфогрунтами, pH и соотношения N/K на урожай изучалось в стандартных кассетах с 64 ячейками для растений по 50 мл. В эксперименте использовалось 6 кассет. В каждой кассете экспериментальным грунтом заполнялось 32 ячейки, расположенные четвертками в шахматном порядке, во избежание чрезмерной загущенности растений после периода вегетации, как показано на рис. 2. В каждой ячейке четверки выращивалось одно растение на субстрате с одинаковыми pH и N/K. Кассеты помещались в поддон, разделенный герметичными перегородками на 16 частей, каждая из которых вмещает 4 ячейки. Эксперимент проводился в период с 24 ноября по 26 декабря 2017 года. Номинальный показатель pH исходных субстратов в питательных смесях фиксировался на трех уровнях pH = 7, 6, 5. На каждом уровне pH варьировалось соотношение N/K = 1–6. Растения выращивались в течение 32 суток. Их качество характеризовалось средней зеленой и сухой биомассой одного растения в каждой группе из четырех растений, содержанием хлорофилла *a* и нитратов в листьях.



Рис. 2. Вид заполненных экспериментальным грунтом кассет и поддона для поливной воды

В начальный период роста (~15 дней) растения несколько лучше росли на 5 % смеси, чем на средах с более высоким содержанием процента цеолитного субстрата, возможно из-за лучшей водоудерживающей способности такой смеси.

На рисунке 3 в качестве примера представлены фотографии одной из кассет с растениями в различные дни вегетации. В таблице 1 приведены параметры состава питательной среды в ячейках, расположенных в каждом ряду, номер которого представлен на левой верхней фотографии рисунка, и средняя масса растения на 32-й день при окончании выращивания.



10-е сутки



17-е сутки



24-е сутки



31-е сутки

Рис. 3. Кассета № 1 (песок + цеолитный субстрат(Ц); pH 7): внешний вид растений в ходе эксперимента

Таблица 1

Сырая масса растений салата в зависимости от процента цеолитного субстрата (Ц) в смеси с песком при различных соотношениях N/K

№ ряда на рис. 3	1	2	3	4	5	6	7	8
Ц, %	5	10	50	100	5	10	50	100
N/K	3	3	3	3	2	2	2	2
Масса растений, г/сосуд	4,7	4,1	6,1	8,5	4,0	4,4	7,0	7,9

В условиях малого объема сосудов в нашем эксперименте (50 см³) количество питания, доступного для растений, строго ограничено. При 5 % добавке на растение приходится 2,5 г субстрата. При его полном использовании по азоту, максимально возможная расчетная биомасса с сосуда ~ 8–10 г, т. е. ~ 4 г биомассы/1 г субстрата. В реальном эксперименте получено 4,7 г/сосуд (табл. 1), степень истощения по азоту составила ~ 60 %. При небольших добавках субстра-

та урожай практически одинаков при рН 7 и 6 и несколько ниже (на ~15 %) при рН 5. Существенно больше урожай был получен при рН 7 для 50 % и 100 % смеси. Соотношение N/K также мало влияет на урожай при рН 6–7.

Добавление цеолитного субстрата к коммерческому питательному торфогрунту Гаспадар дает резкое увеличение урожая уже при 2 % добавки. При оптимальных рН и N/K урожаи почти вдвое выше на смесях 10 % субстрата с торфогрунтом, чем с песком. Кроме этого грунта исследовались также грунты Флорабел и Двина. Во всех случаях рост растений сильно ускорялся при добавлении к ним 5–10 % цеолитного субстрата, но получить воспроизводимые количественные результаты было невозможно из-за неконтролируемости различий в свойствах образцов этих грунтов с одинаковыми декларируемыми характеристиками.

Неожиданные результаты получились при выращивании салата в другом эксперименте (сосуды 250 мл) на смесях цеолитного субстрата с нейтрализованным верховым торфом Двина (табл. 2, рис. 4). Наилучшей питательной средой для растений оказалась смесь 90 % субстрата и 10 % торфа. Десятипроцентная добавка торфа привела к увеличению сырой массы надземной части растения в 6 раз, а сухой – в 3 раза. Содержание нитратов в листьях также увеличилось, но осталось в допустимых пределах. Масса растений, выращенных на смеси 90 % торфа и 10 % Циона оказалась несколько ниже, чем в первом случае, но значительно выше, чем на чистом цеолитном субстрате или торфе. Вероятно, сильное влияние малых добавок торфа связано с улучшением условий переноса ионов питательных веществ из кристаллов цеолита к поверхности корня растения за счет образования ион-проводящих мостиков между ними.

Таблица 2

Параметры растений, выросших на цеолитном субстрате и его смесях с неудобренным верховым торфом (внешний вид растений представлен на рис. 4)

Среда для выращивания	Масса листьев (сырая), г	Масса листьев (сухая), г	Масса корней (сырая), г	Масса корней (сухая), г	Хлорофилл, мг/кг сырой биомассы	NO ₃ , мг/кг сырой биомассы
№ 1: Торф (Т)	2,56	1,48	0,20	0,13	2142	266
№ 2: Цеолитный субстрат (Ц)	11,13	1,90	1,02	0,17	3210	291
№ 3: Ц+10 %Т	69,00	6,39	5,08	0,52	2040	930
№ 4: Ц+90 %Т	46,80	5,07	3,72	0,94	1725	1302

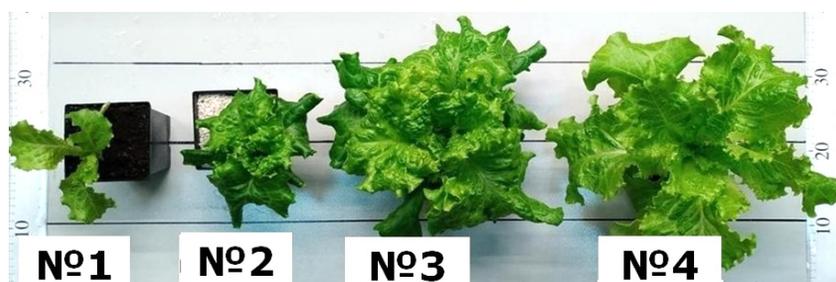


Рис. 4. Внешний вид растений, выросших на цеолитном субстрате и его смесях с не удобрённым верховым торфом (номера на рисунке соответствуют номерам в таблице 2)

Довольно резкое возрастание содержания нитратов в растениях, выросших на смесях цеолитного субстрата и торфа по сравнению с растениями на этих компонентах питательной среды, взятых по отдельности, находится в согласии с известными фактами ускорения роста нитрифицирующих бактерий при внесении цеолитов в природные среды [18, 19].

В отдельном предварительном эксперименте изучалось влияние малых добавок цеолитного субстрата к различным не удобренным и удобренным (АЗФК марки N16P16K16 из расчета 1180 кг/га) основным грунтам – песку, верховому торфу и природному суглинку. В нем использовались сосуды емкостью 2 л, глубиной 19,5 см с посевной площадью 144 см². Количество добавленного в основной грунт цеолитного субстрата было 1, 2 и 5 г на растение, что соответствует 0,25, 0,5 и 1,25 объемных процентов в питательной среде (3,5; 7 и 17,5 т на гектар соответственно).

Субстрат вносился в посадочную лунку каждого растения и перемешивался с небольшим объемом основного грунта. Посев производился не пророщенными семенами. После появления на растениях первых настоящих листьев, лишние растения удаляли и оставляли пять растений, расположенных на максимальных расстояниях друг от друга. В качестве основного грунта использовались нейтрализованный верховой торф Двина, крупный песок (частицы 0,5–3 мм) и природная дерново-подзолистая среднесуглинистая почва. Как видно из рис. 5, во всех случаях наблюдалось увеличение урожая растений в размере от 1 до 3 г сырой надземной массы на грамм внесенного в сосуд цеолитного субстрата как в удобренный, так и в не удобренный грунт независимо от его типа.

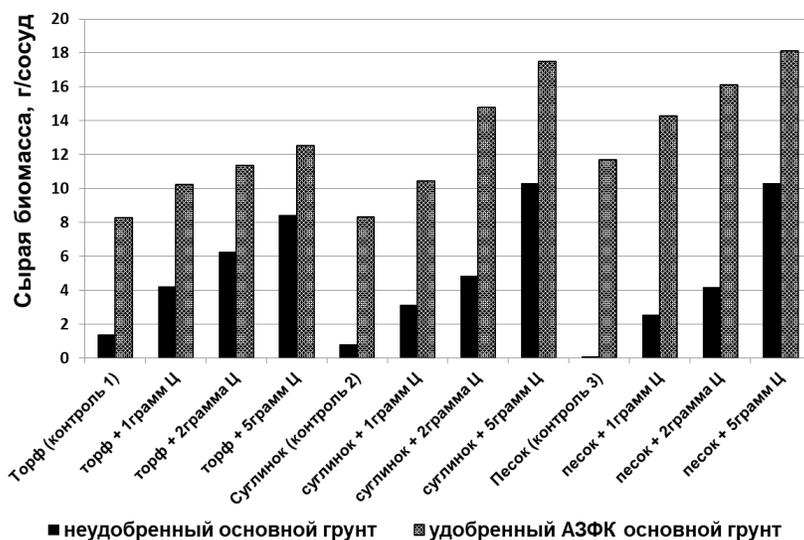


Рис. 5. Сырая биомасса растений салата при разных дозах цеолитного субстрата (Ц) и типа основного грунта

При выращивании других растений, перечисленных выше, наблюдались закономерности, сходные с таковыми для салата. Примеры выращивания некоторых растений на смесях верхового нейтрализованного торфа с цеолитным субстратом приводятся на рис. 6, 7. В процессе роста растений подкормка растений не производилась. Возможность внесения большого количества минерального питания

в питательную среду без риска «корневого ожога» растения составляет одно из основных преимуществ цеолитных субстратов перед обычными химическими удобрениями. Это уменьшает трудоемкость процесса выращивания и исключает ошибки при внесении химических удобрений, что особенно важно для любительского и непрофессионального растениеводства.



Рис. 6. Внешний вид растений, выросших в смеси цеолитного субстрата с верховым торфом: растение – земляника садовая, сорт Красная шапочка, 87 дней после посадки семенами. Питательная среда для растений (сосуды указаны слева направо: 1 – верховой торф Двина, нейтрализованный доломитом с добавкой удобрения АЗФК марки N16P16K16; 2 – верховой торф Двина, нейтрализованный доломитом; 3, 4 – верховой торф Двина, нейтрализованный доломитом (90 %) + 10 % об. цеолитного субстрата). Емкость сосудов – 2 л

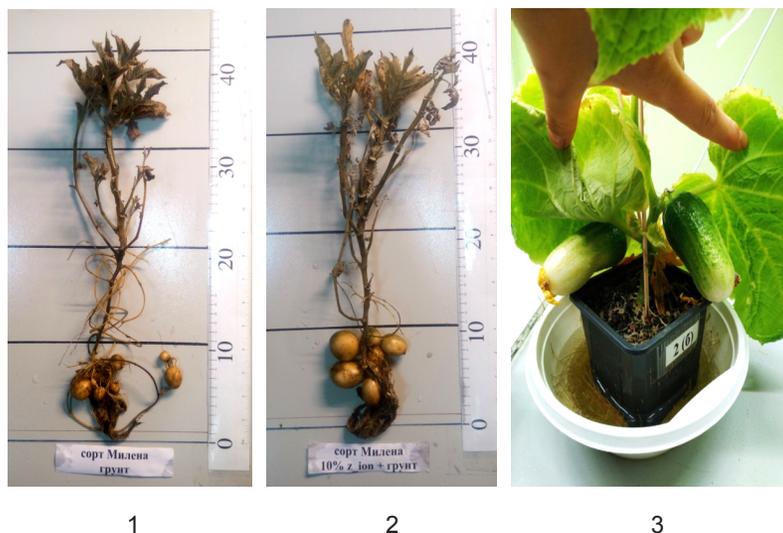


Рис. 7. Внешний вид растений, выросших в смеси цеолитного субстрата с верховым торфом: 1, 2 – растение картофеля, сорт Милена, 120 дней после посадки семенами; питательная среда для растений: 1 – коммерческий торфогрунт Гаспадар; 2 – торфогрунт Гаспадар (90 %) + 10 % об. цеолитного субстрата. Емкость сосудов – 0,5 л; 3 – растение огурца, сорт Деревенская ярмарка, 47 дней после посадки семенами; питательная среда для растений: верховой торф Двина, нейтрализованный доломитом 60 % + вермикулит 30 % + цеолитный субстрат 10 %

Возможные области использования цеолитных субстратов

В настоящее время, насколько нам известно, субстрат ЦИОН является единственным коммерчески доступным представителем цеолитных субстратов. Он прошел довольно широкое опробование в комнатном любительском растениеводстве и дачной практике. Но систематических испытаний этих субстратов профильными почвоведческими, агрохимическими, сельскохозяйственными, экологическими и другими институтами, для которых такие субстраты могут представить практический интерес, не проводилось. Одной из причин этого является очень малое количество научных публикаций о его свойствах, ссылки на которые приводятся в настоящей статье. Значительно больше публикаций имеется по композитным субстратам, представляющим собой смеси цеолитов с полимерными ионитными субстратами типа БИОНА [20–22], которые хорошо зарекомендовали себя в различных областях растениеводства. Однако их широкомасштабное применение проблематично из-за неизбежно высокой стоимости полимерной составляющей таких субстратов и санитарных ограничений на внесение синтетических полимеров в естественные почвы. Оба эти ограничения отсутствуют для цеолитных субстратов. Поэтому вопрос об их применении в растениеводстве открытого грунта может обсуждаться предметно совместно с организацией крупномасштабного производства цеолитных субстратов.

Внесение цеолитного субстрата в почву приводит к увеличению содержания в ней невымываемых водой элементов питания в легкодоступной для растений форме. Их количество может быть в несколько раз больше, чем требуется растению в одном биологическом цикле, что создает возможность более редкого сезонного внесения удобрений и подкормок в процессе вегетации. Поскольку такие субстраты представляют собой комбинацию расходуемого действующего вещества и их перманентного носителя, поглощательная емкость почвы увеличится и после истощения субстрата. Последний сорбирует ионы калия, аммония и катионных микроэлементов из стандартных минеральных удобрений, что способствует уменьшению их вымываемости из почв и сокращению загрязнения поверхностных вод. Важным побочным эффектом присутствия цеолитов почве является интенсификация развития нитрифицирующей микрофлоры, способствующей увеличению плодородия почв. Эти соображения находят подтверждение в лабораторных экспериментах, но требуют проверки в полевых условиях.

Особенно высок эффект от добавок цеолитного субстрата в бедные, деградированные почвы и бесплодные грунты (например, на местах шахтных выработок [23], песчаных карьеров или природных бесплодных песчаников). Цеолитный субстрат, внесенный в достаточных количествах, обеспечивает рост растений на таких средах на протяжении нескольких лет, после чего возможно эффективное применение стандартных минеральных удобрений. Цеолит не деградирует в результате ветровой и водной эрозии; его внесение в почву приводит к увеличению ее обменной емкости и может быть использовано для повышения категории бедных почв [10] и восстановления плодородия деградированных почв и ускорения процесса почвообразования на бесплодных грунтах. Они могут использоваться при микроклональном размножении растений и как твердый субстрат многоразового применения в гидропонной технологии.

Другой областью использования цеолитных субстратов является его применение в малых оранжереях в поселениях, насчитывающих несколько (или несколько десятков) человек, таких как в удаленных районах Севера, Арктики, контейнерных и крышных оранжерей. В таких случаях важнейшим свойством субстрата является его высокая обменная емкость, обеспечивающая возможность его длительной эксплуатации без внесения удобрений.

ВЫВОДЫ

Все испытанные растения могут расти на 100-процентном цеолитном субстрате и положительно отзываются на добавку такого субстрата к удобренным и не удобренным грунтам.

Добавка сравнительно небольшого количества неудобренного нейтрализованного верхового торфа к цеолитному субстрату резко улучшает рост растений. Растения, выросшие на таких смесях, содержат на порядок меньше нитратов в биомассе, чем на питательных грунтах, удобренных нитратами при сравнимых урожаях биомассы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кипящие камни (Цеолиты): список литературы [Электронный ресурс] / сост. Н. В. Кусова. – Режим доступа: <http://www.buninlib.orel.ru/Eko/izdaniya/PDF/24.pdf>. – Дата доступа: 04.05.2021.
2. Романова, Г. А. Цеолиты: эффективность и применение в сельском хозяйстве / Г. А. Романова. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. – Ч. 1. – 296 с.
3. Титова, В. И. Сравнительное изучение влияния цеолита и минеральных удобрений на продуктивность зерновых культур и агрохимическую характеристику светло-серой лесной легкосуглинистой почвы / В. И. Титова, Н. В. Забегалов // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – Т. 52, № 1. – С. 190–198.
4. Evaluation of zeolite as a component in organic growing substrates for tomato transplant production / C. Lafreniere [et al.] // Acta Horticulturae. – 2011. – Vol. 893. – P. 1215–1222.
5. Кузнецов, А. Ю. Влияние природного цеолита и удобрений на свойства почвы и урожайность сельскохозяйственных культур / А. Ю. Кузнецов, Е. Н. Кузин // Плодородие. – 2009. – № 3. – С. 12–13.
6. Андроникашвили, Т. Г. Влияние использования природных цеолитов в качестве удобрений на химические и физико-химические свойства подзолистых и карбонатных почв влажных субтропиков Грузии / Т. Г. Андроникашвили, М. К. Гамисония, М. А. Кардава // Annals of Agrarian Science. – 2006. – Т. 4, № 1. – С. 9–14.
7. Рязанова, О. А. Ресурсосберегающие технологии выращивания овощей с применением природных цеолитов / О. А. Рязанова // Международный с/х журнал. – 2002. – № 2. – С. 52–54.
8. Газданов, А. У. Восстановление деградированных горных кормовых угодий / А. У. Газданов, М. А. Юлдашев, И. Э. Солдатова // Земледелие. – 2008. – № 3. – С. 20–21.
9. Лобода, Б. П. Применение цеолитсодержащего минерального сырья в растениеводстве / Б. П. Лобода // Агрохимия. – 2000. – № 6. – С. 78–91.

10. Середина, В. П. Агроэкологические аспекты использования цеолитов как почвоулучшителей сорбционного типа и источника калия для растений / В. П. Середина // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, № 3. – С 56–60.

11. Jordanian Zeolitic Tuff as a Raw Material for the Preparation of Substrates Used for Plant Growth / I. Manolov [et al.] // J. Central Europ. Agr. – 2005. – Vol. 4, № 6. – P. 485–494.

12. Plant growth experiments in zeolitic substrates: applications for advanced life support systems [Electronic resource] / D. W. Ming [et al.]. – Mode of access: <http://zeolitavida.eu/wp-content/uploads/2014/06/zeoponics1.pdf>. – Date of access: 04.05.2021.

13. Ming, D. W. Zeoionic Substrates for Space Applications: Advances in the Use of Natural Zeolites for Plant Growth / D. W. Ming, E. R. Allen // Natural Microporous Materials in Environmental Technology. NATO Science Series (Series E: Applied Sciences), P. Misaelides [et al.] (Eds.). – 1999. – Vol. 362. – P. 157–176.

14. Питательный субстрат для выращивания растений [Электронный ресурс]: патент RU 2 662 772 C1 / Д. А. Ефремов [и др.]. – Дата публ. 30.07.2018. – Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2662772C1_20180730?utm_referrer=7dach.ru. – Дата доступа: 04.05.2021.

15. Безнитратный питательный субстрат для растений на основе клиноптилолита / В. С. Солдатов [и др.] // Докл. НАН Беларуси. – 2019. – Т. 63, № 1 – С. 55–60.

16. Выращивание салата листового (*Lactuca sativa* L.) сорта «Афицион» на безнитратном цеолитном субстрате / В. С. Солдатов [и др.] // Агрохимия. – 2020. – № 3. – С. 31–36.

17. Влияние различных доз химически модифицированного цеолита на микробиологическую активность нефтезагрязненной почвы / У. Р. Идрисова [и др.] // Вестник Каз.НУ: серия биологическая. – 2013. – Т. 59, № 3/1. – С. 103–107.

18. Stimulation of Soil Microbiological Activity by Clinoptilolite: The Effect on Plant Growth / V. Karlicic [et al.] // V. Ratar. Povtr. – 2017. – Vol. 54, N 3. – P. 117–123.

19. Weatherley, L. R. The enhancement of ammonium ion removal onto columns of clinoptilolite in the presence of nitrifying bacteria / L. R. Weatherley, R. J. McVeigh // Ion exchange at the millennium, L. A. Greig (Ed.). – UK: Imperial College Press, 2000. – 141 p.

20. Солдатов, В. С. Ионитные почвы / В. С. Солдатов, Н. Г. Перышкина, Р. П. Хорошко. – Минск: Наука и техника, 1978. – 271 с.

21. Федюнькин, Д. В. Эффективность замены в искусственной почве ИС-2 синтетического катионита КУ-2 природным ионообменником / Д. В. Федюнькин, Л. Л. Кошелева // Докл. АН БССР. – 1985. – Т. 29, № 4. – С. 367–370.

22. Мытько, Л. В. Использование ионообменных субстратов в длительной культуре овощных растений / Л. В. Мытько, Л. И. Дукашевич, И. Ф. Хирсанова // Агрохимия. – 1989. – № 6. – С. 51–58.

23. Chomczynska, M. The effect of Z-ion Zeolite substrate on growth of *Zea Mays* L. as energy crop growing on marginal soil / M. Chomczynska, M. Zdeb // J. of Ecological Engineering. – 2019. – Vol. 20, № 9. – P. 253–260.

NUTRIENT SUBSTRATE FOR PLANTS ON THE BASE OF ZEOLITES

**V. S. Soldatov, A. P. Ezubets, V. V. Saprykin,
E. G. Kosandrovich, L. N. Shachenkova**

Summary

Studied zeolite substrates consist of chemically modified clinoptilolite of the Kholinsky deposit (Transbaikal group, Russia) and contain correcting additives – natural phosphate minerals. Zeolite is saturated with K^+ and NH_4^+ ions, the molar ratio of which (N/K) can vary in the range of $N/K = 0,5-4$. The pH value of the water in contact with the substrate can also be set during the production process ($pH = 4,5-7,5$). We studied the cultivation of the following crops in laboratory pot experiments: leaf lettuce; ryegrass; tomatoes; cucumber; seed potatoes; garden strawberries; zucchini; sweet pepper; arabidopsis; marigold; peas. As the main test culture for elucidating the influence of various factors on plant growth, we used leaf lettuce cultivar Aficion (*Lactuca sativa*, Aficion). Using this example, the influence of the following factors on plant growth on nutrient media containing a zeolite substrate was studied: granulometric composition of the substrate; the influence of the content of the substrate in mixtures with various sterile and nutritious soils; pH of water in contact with the substrate; the ratio of mobile nitrogen and potassium in the substrate. All tested plants can grow on 100 % zeolite substrate and respond positively to the addition of such a substrate to fertilized and non-fertilized soils. The addition of a relatively small amount of non-fertilized neutralized high-moor peat to the zeolite substrate dramatically improves plant growth. Plants grown on such mixtures contain an order of magnitude less nitrates in biomass than on nutrient soils fertilized with nitrates with comparable biomass yields.

Поступила 03.05.21

УДК 635.64:631.589:631.811

**ДИНАМИКА РОСТА РАСТЕНИЙ ТОМАТА НА СМЕСЯХ
ЦЕОЛИТНОГО СУБСТРАТА И ВЕРХОВОГО ТОРФА**

В. С. Солдатов, А. П. Езубец

*Институт физико-органической химии Национальной
академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Недавно разработанный питательный ионообменный цеолитный субстрат [1] предназначен для выращивания растений по технологии ионитопоника без внесения подкормок на протяжении всего цикла развития растения. Он содержит полный комплект ионов питательных элементов, связанных электростатическими силами с неорганическими, нерастворимыми в воде, носителями. Эти ионы