

УДК 633.52:631.82

ВЫРАЩИВАНИЕ САЛАТА ЛИСТОВОГО (*Lactuca sativa* L.) СОРТА АФИЦИОН НА БЕЗНИТРАТНОМ ЦЕОЛИТНОМ СУБСТРАТЕ

© 2020 г. В. С. Солдатов^{1,*}, С. Ю. Косандрович¹, О. В. Ионов¹,
А. П. Езубец¹, Н. В. Вонсович¹

¹ Институт физико-органической химии НАН Беларуси
220072 Минск, ул. Сурганова, 13, Республика Беларусь

*E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by

Поступила в редакцию 18.03.2019 г.

После доработки 22.04.2019 г.

Принята к публикации 10.12.2019 г.

Новый безнитратный субстрат цион-100 был испытан в лабораторных условиях в вазонных экспериментах (50 мл) на плодородие и содержание нитратов в биомассе листьев салата листового (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион. Субстрат содержал все необходимые для растений питательные элементы в высокой концентрации и не содержал органических веществ и нитратов. Весь азот в субстрате содержался в аммонийной форме. Растения выращивали на 100%-ном субстрате и его смесях (5–50%) с бесплодным кварцевым песком. При самой низкой концентрации субстрата в песке они генерировали 2.5 г зеленой биомассы/г субстрата с концентрацией хлорофилла 2.3–3.3 мг/г и NO_3^- – 70–210 мг/кг, что было на порядок меньше разрешенной санитарной нормы для растений, использованных в эксперименте. Потребление азота составило 50% от его содержания в свежем субстрате. Подкормки удобрениями в процессе вегетации не проводили.

Ключевые слова: салат листовой (*Lactuca sativa* L.), сорт Афицион, безнитратный цеолитный субстрат.

DOI: 10.31857/S0002188120030138

ВВЕДЕНИЕ

Проблема получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур с низким содержанием нитратов без применения фитогормонов и других химических средств воздействия на физиологические процессы в растениях является одной из основных при получении гарантированно безопасной для человека и животных сельскохозяйственной продукции. Это важнейший элемент так называемого органического сельского хозяйства – перспективного нового направления растениеводства.

Такую возможность открывают разработанные цеолитные субстраты [1], которые содержат полный комплект необходимых растению биогенных элементов в виде ионов, сорбированных природным цеолитом – клиноптилолитом и труднорастворимыми природными или синтетическими неорганическими минералами. Предпосылкой для использования таких питательных сред является высокая концентрация питательных веществ в субстратах в сочетании с безопасной для растений концентрацией равновесных

растворов и отсутствием в них нитратов. Весь азот в них находится в аммонийной форме.

В настоящее время эти субстраты практически не исследованы в процессах выращивания растений, т.к. их опытное производство делает лишь первые шаги. Среди известных аналогов можно назвать только субстраты типа биона на основе органических ионитов или их смесей с клиноптилолитом [2, 3]. Однако они не соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям, запрещающим введение полимерных ионитов в почвы.

Целью работы – испытание одного из цеолитных субстратов (рабочее название цион-100) на принципиальную возможность выращивания на нем салата листового (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Субстрат цион-100 получали на основе природного клиноптилолита Холинского месторождения (РФ, Забайкальская группа). Доля основного минерала в природном цеолите составляла ≈70%,

Таблица 1. Состав цеолита Холинского месторождения

Химический состав		Элементный состав		Содержание токсичных элементов	
компонент	среднее содержание компонента, %	элемент	среднее содержание элемента, $n \times 10^{-3}\%$	элемент	массовая доля, $n \times 10^{-4}, \%$
SiO ₂	65.6	Co	0.956	Pb	15 ± 2
P ₂ O ₅	0.004	Cr	5.18	Cd	0.26 ± 0.02
Al ₂ O ₃	12.2	Cu	191	As	3.5 ± 0.5
TiO ₂	0.07	Fe	8370	Hg	0.020 ± 0.003
Fe ₂ O ₃	1.25	Mg	10800	Sr	0.0041 ± 0.0003
FeO	0.06	Mn	3674		
CaO	2.07	Mo	101		
MgO	0.64	Ni	38.7		
Na ₂ O	1.90	P	2.36		
K ₂ O	4.14	Zn	105		
S _{общ}	0.016				
MnO	0.14				
H ₂ O	3.82				

Таблица 2. Содержание подвижных ионов в субстрате цион при pH = 7.0 и их концентрация в водных вытяжках

Ион	NH ₄ ⁺	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻
Содержание в субстрате, мэкв/100 г	37	25	12	1.8	29	<0.01	<0.01	<0.003	7.6*
Содержание в субстрате, мг/100 г	666	975	276	21.6	580	<0.50	<0.50	<0.20	722
Концентрация в вытяжке дистиллированной водой, мэкв/л	4.92	1.50	3.33	0.31	0.83	0.85	0.16	0	5.98**
Концентрация в вытяжке водопроводной водой, мэкв/л	5.35	1.62	3.97	0.48	1.06	1.59	0.65	0.10	4.73**
Концентрация в поливной (водопроводной) воде мэкв/л	<0.03	<0.01	0.50	1.34	3.19	0.76	0.54	0.18	<0.003

* ммоль/100 г.

** ммоль/л.

его состав приведен в табл. 1 [4, 5]. Минерал содержит ничтожно мало фосфора и отсутствует бор. В нем не содержатся в опасных концентрациях токсичные элементы.

Субстрат цион-100 на 98% состоит из клиноптилолита, модифицированного введением в него ионов питательных элементов и корректирующих добавок малорастворимых природных минералов фосфора или компонентов минеральных удобрений. Дополнительное внесение микроэлементов может быть сделано в соответствии с потребностью выращиваемых культур общепринятыми способами [6, 7]. В нашем случае в этом не

было необходимости. Состав подвижных ионов в субстрате приведен в табл. 2.

Цион образует при контакте с водой питательный раствор с концентрацией и соотношением ионов, близкими к оптимальным [8], что исключает возможность передозировки удобрений в субстратном растворе и допускает возможность прямого контакта частиц субстрата с корнем растения. Состав вытяжек циона дистиллированной и поливной (водопроводной) водой, приведен в табл. 2. Состав воды, применяемой для полива, отвечает стандартам питьевой воды и близок к средневропейскому. Другие свойства субстрата: на 50% он состоит из частиц размером 2–4 мм,

Таблица 3. Состав равновесных растворов над субстратом цион в поливной воде

N : K	pH	УЭП, μS	[C], мэкв/л								
			NH_4^+	K^+	Na^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	NO_3^-	H_2PO_4^-
3:1	7.0	882	5.19	1.53	3.78	0.43	0.98	1.48	0.58	0.10	4.26
3:1	6.0	838	4.27	1.42	4.05	0.50	1.66	1.41	0.59	0.11	7.50
3:1	5.0	838	3.34	1.30	4.29	0.52	2.62	1.40	0.62	0.13	10.2
2:1	5.0	817	3.07	1.47	4.19	0.52	2.57	1.37	0.56	0.11	10.3
4:1	6.0	857	4.57	1.31	4.02	0.47	1.72	1.34	0.56	0.10	8.22
5:1	6.0	846	4.66	1.24	4.07	0.48	1.82	1.43	0.57	0.09	8.98
4:1	7.0	875	5.49	1.35	3.74	0.41	0.91	1.30	0.53	0.08	4.84
5:1	7.0	864	5.55	1.27	3.68	0.41	0.90	1.24	0.54	0.08	4.63
6:1	7.0	865	6.00	1.25	3.85	0.41	1.03	1.28	0.56	0.07	4.85

38% – размером 0.5–2.0 мм и 12% <0.5 мм, pH 5.0–7.0, удельная электропроводность (УЭП) – 560–750 μS (в экстрактах дистиллированной водой).

Субстрат может быть получен с любым заданным соотношением количеств подвижных ионов и актуальной кислотностью. В настоящей работе его использовали в 100%-ном виде и в виде добавки к бесплодному песку. Кварцевый песок перед использованием обрабатывали 2 М раствором соляной кислоты для отмывки от карбонатов и оксидов, присутствующих в исходном материале.

При изготовлении субстратов и их использовании в биологических экспериментах контроль параметров производили с помощью следующих приборов: pH-метра HANNA 213 (измерение величины pH), кондуктометра HANNA EC214, (измерение удельной электропроводности – УЭП), прибора капиллярного электрофореза “Капель 104-Т” (определение концентрации растворов макроэлементов), и ИСП-спектрометра (определение концентрации ионов Al^{3+} и Fe^{3+}), нитрат-селективного электрода ЭМ- NO_3^- -07СР с иономером И-160МП (определение концентрации NO_3^-).

Субстраты, использованные в биологическом эксперименте, различались исходной актуальной кислотностью и соотношением концентраций аммония и калия (N : K). Состав макроионов в равновесных растворах над субстратом цион с различными номинальными pH и соотношениями N : K в субстрате представлен в табл. 3. Фактические величины pH могли отличаться от номинальных не более чем на 0.2.

В качестве тест-культуры использовали салат листовой (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион. Эту культуру выбрали в связи с коротким сроком его выращивания до товарных кондиций (техниче-

ская вегетация от 30 до 45 сут) и высоким уровнем накопления нитратов в биомассе (официальная ПДК – 1500 мг/кг зеленой массы [9]).

Растения выращивали в стандартных кассетах 60 × 60 см, содержащих 64 (8 × 8) ячейки, объемом 50 мл и глубиной 5 см. В эксперименте использовали 3 кассеты. Информация о составе питательных сред в каждой ячейке приведена в табл. 3, 4. Кассеты заполняли питательными средами и выращивали по 4 растения рядом. Четверки в соседних рядах размещали в шахматном порядке во избежание чрезмерной загущенности, наступающей после 20 сут вегетации. В каждой четверке состав питательной среды был одинаковым. Освещение в вегетостате осуществляли лампами ДНБО1–4 × 9–001 У4.1 “Светодар” (отношение интенсивности в синем и красном диапазоне 4:1) с фотопериодом 18 ч (6:00–24:00) – 6 ч темноты. Общая освещенность – 10000 Лк на среднем уровне листьев. Дневную температуру поддерживали на уровне 21–23°C, ночную – 18–20°C.

В процессе выращивания 3 раза проводили промывку ячеек поливной водой для предотвращения влияния излишнего засоления субстратного раствора. Растения снимали на 32-е сут после посадки, определяли их зеленую и сухую биомассу (сушка при 60°C). В выбранных пробах растений определяли содержание нитратов и хлорофилла *a* в зеленой биомассе стандартным методом [10]. Рассчитывали среднюю биомассу растений и ее стандартное отклонение от среднего.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Во всех случаях растения, выращенные на смеси песка с ционом, не имели особенностей и отклонений от нормального вида (табл. 4). Биомасса наземной части растений, выращенных при

Таблица 4. Содержание хлорофилла в растениях и накопление биомассы салатом при выращивании на субстратах с разным соотношением циона и песка

Цион, % в субстрате	N : K	Содержание хлорофилла, мг/г	NO ₃ ⁻ , мг/кг	Средняя сырая биомасса	Средняя сухая биомасса	Сухое вещество, %	
				г/растение			
Кассета 1 (песок + цион, pH 7.0)							
5	3	2.03	210	4.66 ± 0.39	0.69 ± 0.09	14.8	
10	3	—	—	4.61 ± 0.67	0.51 ± 0.09	11.2	
100	3	3.30	90	9.45 ± 0.36	0.79 ± 0.04	8.3	
5	2	2.38	130	3.98 ± 0.28	0.58 ± 0.07	14.6	
10	2	—	—	4.42 ± 0.67	0.49 ± 0.08	11.0	
100	2	—	70	7.89 ± 1.32	0.61 ± 0.15	7.7	
Кассета 2 (песок + цион, pH 6.0)							
5	3	2.38	200	4.82 ± 0.49	0.55 ± 0.03	11.4	
10	3	—	—	4.21 ± 1.16	0.51 ± 0.12	12.1	
100	3	2.33	120	6.14 ± 0.06	0.50 ± 0.02	8.1	
5	2	2.15	180	3.53 ± 0.24	0.43 ± 0.04	12.2	
10	2	—	—	4.54 ± 0.83	0.51 ± 0.10	11.2	
100	2	—	70	5.21 ± 1.15	0.42 ± 0.06	8.0	
Кассета 3 (песок + цион, pH 5.0–7.0)							
N : K	pH	Песок, %	Содержание хлорофилла, мг/г	NO ₃ ⁻ , мг/кг	Средняя сырая биомасса	Средняя сухая биомасса	Сухое вещество, %
					г/растение		
Контроль*		0	1.70	—	0.34 ± 0.06	0.045	13.3
2	5.0	90	—	100	3.03 ± 0.65	0.41 ± 0.18	13.5
3	5.0	90	2.80	180	3.79 ± 0.21	0.51 ± 0.04	13.3
4	7.0	90	—	110	4.09 ± 0.68	0.45 ± 0.10	11.0
6	7.0	90	2.84	140	4.69 ± 1.09	0.50 ± 0.09	10.7

*Контроль – торф 100%.

дозе циона 2.5 и 5.0 г/растение (5 и 10% циона в смеси с песком), достоверно не различалась. Она составила соответственно 5.03 ± 1.24 и 5.17 ± 1.90 г зеленой и 0.55 ± 0.12 и 0.52 ± 0.10 г сухой биомассы/растение, независимо от величины pH в пределах 5.0–7.0 и соотношения N/ : K = 3–6. При pH = 6.0 биомасса растения была равна 5.07 ± 1.25 г. Это свидетельствовало о том, что при количестве циона 2.5 г/растение в его смесях с бесплодным грунтом практически полностью удовлетворялись потребности растения в элементах питания. Более высокая биомасса оказалась у растений, выращенных на 100%-ном ционе (50 г/на растение), особенно при pH = 7.0: 8.56 ± 1.18 г/растение.

При увеличении доли циона в смесях с песком возрастало содержание сухого вещества в растениях. Это явление наблюдали во всех случаях, когда условия корневого питания растений салата, райграса и др. улучшались, в частности, за счет

разрыхления грунта. В нашем случае наиболее вероятной причиной этого было улучшение аэрации корневой системы по мере замены песка на цион. В опыте использовали кварцевый песок с размером частиц 0.1–0.63 мм. Субстрат цион был полидисперсным и состоял из частиц размером от 0.5 до 3.0 мм, преимущественно – 0.7–2.0 мм. Изучение их водно-воздушных свойств показало, что в условиях полива в поддон вегетационного сосуда в ционе объемная доля воздуха составляла 16.3, воды – 40.0%; для песка эти величины были равны 2.3 и 40.0% соответственно.

В надземной биомассе растений, выросших на питательных средах с добавлением циона, концентрация хлорофилла *a* изменялась в пределах 2.3–3.3 мг/г и оказалась малочувствительной к количеству добавленного циона.

Субстрат цион до посева растений не содержал в своем составе нитратов. Тем не менее, в зеленой

массе растений после их среза на 32-е сут были обнаружены нитраты в концентрации до 210 мг/кг зеленой биомассы растений, выросших на смеси субстрата с песком. Для исследованной тест-культуры это было низким уровнем, однако нитраты присутствовали во всех случаях. Их концентрация была несколько меньше в растениях, выросших на 100%-ном ционе-100 – до 120 мг/кг. Кроме наличия следовых количеств нитратов в поливной воде, вероятной причиной появления нитратов в биомассе растений было обсеменение питательной прикорневой среды нитрифицирующими бактериями в процессе роста растений, т.к. эксперимент проводили в нестерильных условиях. Известно, что присутствие в почве и водных средах цеолитов способствует закреплению на них колоний и быстрому развитию бактерий [11], которые используют ион аммония, выделяющийся из субстрата в процессе роста растений. Окончательное выяснение причин этого явления требует постановки специального эксперимента с выращиванием растений, подготовки субстрата, поливной воды и воздуха помещения с соблюдением требований стерильности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что цеолитный субстрат цион-100 в чистом виде и в смесях с бесплодным грунтом (кварцевым песком) обеспечивал без дополнительного удобрения на протяжении 32-суточной вегетации потребности растений салата листового (*Lactuca sativa* L.) сорта Афицион всеми питательными элементами. Количество субстрата 2.5 г/растение в виде 5%-ной смеси с кварцевым песком в вазоне объемом 50 мл было достаточным для получения растений с массой надземной части 5.03 ± 1.24 г. Это соответствовало получению ~2 г биомассы/г субстрата. При этом содержание азота в субстрате уменьшалось на 50%. Вариации количества клиноптилолитного субстрата в пределах 2.5–10 г/растение, рН питательной среды в пределах 5.0–7.0, соотношении N : K = 3–6 существенно не влияли на урожай первой вегетации. Содержание нитратов в биомассе растений салата, выращенных на чистом ционе-100 и

его смесях с отмытым кварцевым песком, было многократно меньше его предельной санитарной нормы. Это открывает возможность получения малонитратной продукции зеленных культур, отвечающих существенно более высоким санитарным требованиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефремов Д.А., Косандрович Е.Г., Мельников И.А., Печуров А.Н., Полховский Е.М., Солдатов В.С., Сапрыкин В.В. Питательные субстраты для выращивания растений: Пат. № 2662772, РФ//Б.И. 2018.
2. Солдатов В.С., Терентьев В.М., Перышкина Н.Г. Искусственные питательные среды для роста растений на основе ионообменных материалов // Агрохимия. 1969. № 2. С. 101–107.
3. Солдатов В.С., Перышкина Н.Г., Хорошко Р.П. Ионитные почвы. Минск: Наука и техника, 1978. 270 с.
4. Хатькова А.Н., Размахин К.К. Цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья: новые технологии переработки // Вестн. ИГКоми НЦУрОРАН. 2016. № 1. С. 30–33.
5. Хатькова А.Н., Растовцев В.И., Размахин К.К. Изучение эффективности влияния ускоренных электронов на цеолитсодержащие породы Восточного Забайкалья // Вестн. ИркутскГТУ. 2014. № 2. С. 85–91.
6. Кидин В.В., Торшин С.П. Агрохимия: учебник. М.: Проспект, 2016. 608 с.
7. Вильдфлуш И.Р. Агрохимия. Минск: ИВЦ Минфина, 2013. 704 с.
8. Чесноков В.А. Выращивание растений без почвы. Л.: ЛГУ, 1960. 170 с.
9. Об утверждении санитарных норм, правил и гигиенических нормативов “Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов” и признании утратившими силу некоторых постановлений Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь и постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь: постановление Министерства здравоохранения РБ // 09.06.2009 г. № 63.
10. Кидин В.В., Дерюгин И.П. Практикум по агрохимии: уч. пособ. М.: КолосС, 2008. 599 с.
11. Weatherley L.R., McVeigh R.J. The enhancement of ammonium ion removal onto columns of clinoptilolite in the presence of nitrifying bacteria, In Ion exchange at the millennium // Imper. College Press. 2000. P. 133–141.

Growing of the Leaf Salad (*Lactuca sativa* L.) Cultivator Afition on the Zeolit Nitrate Free Substrate

V. S. Soldatov^{a, #}, S. Y. Kosandrovich^a, O. V. Ionova, H. P. Yezubets^a, and N. V. Vonsovich^a

^a Institute of physical organic chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus
ul. Surganova 13, Minsk 220072, Republic of Belarus

[#] E-mail: soldatov@ifoch.bas-net.by

A new nitrate free nutrient substrate Zion-100 has been tested in the laboratory conditions in pot experiments (50 ml) for the fertility and the nitrates concentration in the biomass of leaf salad (*Lactuca sativa L.*) cultivar Aficion. The substrate contained all necessary for the plant nutrient elements in chemically bound state in a high concentration; it did not contain any organic matter and nitrates. All nutrient elements in the substrate are contained in chemically bound state in a high concentration. All nitrogen in the substrate is present in the ammonium form. The plants were grown on the 100% substrate as well as on its mixtures (5–50%) with fruitless quartz sand. At the lowest concentration of the substrate in the sand they generated 2.5 g/g substrate of green biomass with concentration of chlorophyll *a* 2.3–3.3 mg/g and NO_3^- – 70–210 mg/kg. This is lower than the admitted sanitary norm for the plants used in the study by an order of magnitude. The consumption of nitrogen was 50% from its content in the fresh substrate. No additional fertilization was done in the vegetation period.

Key words: leaf salad (*Lactuca sativa L.*) cultivator Aficion, zeolit nitrate free substrate.