

ИОНООБМЕННЫЕ СУБСТРАТЫ БИОНА С НОВЫМИ АНИОНООБМЕННЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Л. Н. Шаченкова, А. П. Езубец, Н. В. Вонсович

Институт физико-органической химии НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

ВВЕДЕНИЕ

Ионообменные субстраты представляют собой смеси природных и/или синтетических ионитов, содержащих в оптимальной пропорции полный набор макро- и микроэлементов, необходимый растениям. Все эти элементы химически связаны с ионитами и не могут быть вымыты деионизованной водой. Они выделяются по «запросу» растения в обмен на ионизированные корневые метаболиты (HCO_3^- , H^+ , органические ионы) и, в меньшей степени, за счет гидролиза слабоосновных групп ионитов и образующейся угольной кислоты из растворенного CO_2 воздуха. Растения хорошо растут на чистом субстрате, который не вызывает корневого ожога, и это отличает его от всех известных видов удобрений. Ионитные почвы имеют строго определенный и легко контролируемый химический состав, легко регенерируются и стерилизуются [1, 2].

В институте физико-органической химии Национальной академии наук Беларуси разработана технология получения ионитных субстратов, различающихся компонентным составом (типом ионитов и соотношением содержания питательных элементов). Например, в состав субстрата БИОНА-111® (ТУ РБ 100185198.063-2002) входит сульфокатионит КУ-2 (новое название ТОКЕМ-100) и анионит ЭДЭ-10П, содержащий разные по силе функциональные группы (четвертичные, третичные и вторичные аминогруппы). Ионитный субстрат БИОНА-111® нашел применение в сельскохозяйственной биотехнологии для получения посадочного материала элитных растений из клеточных и тканевых культур [3–6], для адаптации микроклонов растений в условиях *ex vitro* [7–10], для интенсификации роста рассады и черенкования сельскохозяйственных культур [11].

В настоящее время сырьевая база для получения ионитных субстратов существенно изменилась по сравнению с субстратами, разработанными до 2000 г. Появились новые аниониты торговой марки ТОКЕМ, а некоторые иониты прежних марок (АН-2ФН, ЭДЭ-10П) перестали выпускаться промышленностью в требуемых количествах.

Цель настоящей работы состояла в том, чтобы исследовать возможность использования новых анионообменных материалов для получения ионообменных субстратов. Было необходимо определить количественные характеристики их состава (полный запас питательных веществ, рабочую емкость по доступным для растений анионам) и водоудерживающую способность; получить с использованием этих анионитов новые варианты ионитных почв; определить pH и состав равновесного раствора, образующегося при контакте субстрата с водой; провести предварительные биологические испытания новых субстратов по выращиванию нескольких видов растений в лабораторных условиях.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования являлись коммерчески доступные слабоосновные аниониты: АН-31, ТОКЕМ-320 и ТОКЕМ-400. Краткая характеристика их свойств приведена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика анионитов, используемых в качестве компонентов субстратов

Техническое название	Способ получения	Строение элементарного звена	Структура	Матрица	Функциональная группа	Ионная форма	Полная статическая обменная емкость, мэкв/г ионита в Н/ОН-форме	Набухание в дистиллированной воде, г H ₂ O/г ионита, pH
ЭДЭ-10П	Поликонденсация		Гелевая	Этиленамин-эпихлоргидриновая	-NRH -NR ₂ -NR ₃ ⁺ X ⁻	Хлоридная	8,02	1,0; pH 3,2
АН-31			Гелевая	Этиленамин-эпихлоргидриновая	-NRH -NR ₂	Хлоридная	9,54	1,2; pH 4,0
ТОКЕМ-320	Полимеризация		Макропористая	Стирол-дивинилбензольная	-NR ₂	Хлоридная	4,91	1,1; pH 5,8
ТОКЕМ-400			Гелевая	Акрил-дивинилбензольная	-NR ₂	Свободное основание	5,27	1,4; pH 9,2

R – алифатический фрагмент.

Величину набухания ионов определяли весовым методом: набухший в дистиллированной воде ион центрифугировали в лабораторной центрифуге (4000 об/мин.) в течение 15 мин. Значение набухания (W , г H_2O /г) рассчитывали, как отношение массы воды к массе сухого ионита.

Полную статическую обменную емкость (ПОЕ, мэкв/г) анионитов определяли по общепринятой методике [12].

Рабочую емкость, реализуемую ионитом по доступным для растений анионам, определяли в динамическом режиме. Питательный раствор насыщения готовили из солей калия (нитрат, сульфат и дигидрофосфат), $pH \approx 6,5$, суммарная концентрация анионов в растворе 20 мэкв/л: $NO_3^- = 16$, $SO_4^{2-} = 3$ и $H_2PO_4^- = 1$ мэкв/л. Свежеприготовленный раствор пропускали через навеску ионита (1 г), помещенную в колонку с пористым дном, до момента достижения равенства pH и концентраций всех ионов на входе и выходе из колонки. После этого ионит центрифугировали 15 мин. при 4000 об/мин. для удаления физического избытка раствора. Далее проводилось полное вытеснение сорбированных ионов раствором 0,4 н $(NH_4)_2CO_3$, объем элюата – 200 мл. Аликвоту элюата досуха выпаривали на водяной бане, растворяли полученный осадок в дистиллированной воде и анализировали полученный раствор методом капиллярного электрофореза. Содержание анионов рассчитывали в мили-эквивалентах на грамм сухого анионита в Н/ОН-форме.

Используя полученные данные по поглощению анионитами элементов минерального питания из питательного раствора в динамических условиях, были рассчитаны солевые составы реагентной смеси для получения новых вариантов субстратов БИОНА. В качестве катионного компонента использовали сульфокатионит ТОКЕМ-100 со следующим ионным составом: $K^+ - 0,71$, $Mg^{2+} - 0,55$, $Ca^{2+} - 3,84$ мэкв/г. Этот же катионит входит в состав субстрата БИОНА-111®. Количество и перечень вводимых микроэлементов (Fe, Na, Mn, Cu, Co, Ni, Zn, B, Mo) также соответствовали субстрату БИОНА-111®.

Физико-химические характеристики полученных субстратов (полная влагоемкость, объемный вес влажного образца, набухание) изучали по методикам [13]. Для получения водных вытяжек 10 г субстрата настаивали в 20 мл воды (минской водопроводной системы или дистиллированной) и выдерживали в течение 24 ч. при периодическом перемешивании. Полученный раствор анализировали методом капиллярного электрофореза.

Для количественного определения содержания биоэлементов в субстратах необходимо было вытеснить их в раствор. Для этого навески катионита и анионита, выделенные из субстрата помещали в колонки, снабженные пористым дном и краном, и пропускали через них раствор 0,5 н соляной кислоты (для катионитов) или раствор 0,4 н $(NH_4)_2CO_3$ (для анионитов). Из полученных растворов (элюатов) отбирали алиquotу (20 мл) и досуха выпаривали на водяной бане. Сухую смесь солей разбавляли дистиллированной водой (20 мл), и проводили анализ раствора методом капиллярного электрофореза. Содержание каждого биоэлемента выражали в граммах на килограмм сухого субстрата.

Сравнительные биологические испытания новых субстратов проводили в лабораторных условиях относительно контрольного образца БИОНА-111®. Для освещения использовали лампы с уровнем освещенности ~ 5000 Лк при длительности светового периода 18 ч. Температуру воздуха поддерживали на уровне 20–22 °С. Полив осуществляли дистиллированной или водопроводной водой в поддон.

Для испытания чистых 100 %-х субстратов использовали стандартные каскеты-рассады с емкостью ячеек 50 см³ и высотой 50 мм, загрузка влажного субстрата – 40 г. В случае 2–20 %-х объемных добавок ионитных субстратов использовали черные пластиковые вегетационные сосуды объемом 250 см³. Питательные среды получали путем механического смешивания влажных субстратов (5–50 г на вазон) и коммерческого инертного песка фракции 0,8–1,2 мм или почвогрунта для выращивания овощных и цветочных культур «Универсальный» серии «Гаспалдар» (ТУ ВУ 690700870.004-2009).

Экспериментальные культуры: салат листовой *Lactuca sativa* L., райграс пастбищный *Lolium perenne* L., перец стручковый *Capsicum annuum* L., земляника лесная *Fragaria vesca* L., томаты вишневидные *Lycopersicon cerasus* L., бархатцы мелкоцветные *Tagetes patula* L.

Продуктивность испытываемых образцов субстратов оценивали по количеству сырой и сухой биомассы растений (салат и райграс) в конце вегетации с единицы веса субстрата ($G_{\text{биомассы}}/G_{\text{субстрата}}$). Эта величина меньше полной продуктивности, так как не учитывает массу корневой системы и остающихся после среза нижних частей стеблей растений (~ 1 см). Содержание воды и количество нитратов в зеленой биомассе определяли стандартными методами [14].

В качестве основной характеристики растений томатов выбрали объем кроны, измерение которого проводили согласно методике, описанной в статье [14]. Землянику, бархатцы и перцы оценивали по внешнему виду.

При изготовлении субстратов и их испытаниях в биологических экспериментах контроль параметров производили с помощью следующих приборов: рН-метра HANNA 213 (измерение величины рН), кондуктометра HANNA EC214 (измерение удельной электропроводности – УЭП), системы капиллярного электрофореза «Капель 104-Т» (определение концентрации макроэлементов в растворах), нитрат-селективного электрода ЭМ-NO₃-07СР с иономером И-160МП (определение концентрации NO₃⁻).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемые в данной работе аниониты являются слабоосновными. В таблице 1 представлено строение их элементарных звеньев с функциональными группами. Выбор этих анионитов обоснован тем, что все они содержат третичные аминогруппы (–NR₂), обладающие высоким сродством к нитрату, который является наиболее потребляемым анионом в процессе питания растения и лимитирует биологическую продуктивность субстрата [2].

Анионит ЭДЭ-10П, используемый для получения субстрата БИОНА-111®, содержит три типа протонирующихся аминогрупп, соответствующих сильно-, средне- и слабоосновным обменным центрам, удерживающим анионы. АН-31 по способу получения (поликонденсация) и структуре (гелевая) аналогичен ЭДЭ-10П. Аниониты марки ТОКЕМ получают полимеризационным способом [15], их полная статическая обменная емкость на 3–4 мэкв/г меньше чем у поликонденсационных ионитов (табл. 1). Величины набухания анионитов в дистиллированной воде составляют 1,0–1,4 г/г.

В таблице 2 представлен анионный состав ионитов равновесных питательному раствору с рН = 6,5 и общей концентрацией анионов 20 мэкв/л: NO₃⁻ = 16, SO₄²⁻ = 3,

$H_2PO_4^- = 1$. Наибольшая рабочая емкость (сумма удерживаемых анионов, Σ) оказалась у анионита АН-31 – 4,74 мэкв/г. У ионита ТОКЕМ-320 эта величина наименьшая, однако он удерживает наибольшее количество азота. Запас питательных элементов и их распределение в анионите ТОКЕМ-400 практически такой же, как и у ЭДЭ-10П.

Таблица 2

Анионный состав анионитов при насыщении их питательным раствором

Анионит	Содержание анионов, мэкв/г				Относительные эквивалентные доли		
	NO_3^-	SO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$	Σ	NO_3^-	SO_4^{2-}	$H_2PO_4^-$
ЭДЭ-10П	1,22	2,73	0,22	4,17	0,29	0,66	0,05
АН-31	1,03	3,16	0,55	4,74	0,22	0,66	0,12
ТОКЕМ-320	2,59	0,90	0,07	3,56	0,73	0,25	0,02
ТОКЕМ-400	1,28	2,72	0,29	4,29	0,30	0,63	0,07

Солевым методом в статических условиях получено три новых субстрата, отличающихся анионообменным компонентом: БИОНА-111/А31 (ТОКЕМ-100 + АН-31), БИОНА-111/А320 (ТОКЕМ-100 + ТОКЕМ-320), БИОНА-111/А400 (ТОКЕМ-100 + ТОКЕМ-400). Их основные характеристики (объемный вес влажного образца и набухание) приблизительно одинаковые и схожи с БИОНА-111® (табл. 3). Общее содержание биоэлементов в новых субстратах на 5–30 % больше, чем в БИОНА-111® (табл. 4). Наибольшее количество азота выявлено в субстрате БИОНА-111/А320, однако он содержит наименьшее количество фосфора.

Для изучения влияния новых ионитных субстратов на рост и развитие растений был проведен ряд биологических экспериментов по выращиванию растений разных культур на этих субстратах и их добавках к бесплодному инертному песку при поливе водопроводной или дистиллированной водой.

В таблице 5 приводится рН, удельная электропроводность (УЭП) и ионный состав поливной воды исходной и приведенной в равновесие с экспериментальными образцами субстратов.

Таблица 3

Основные характеристики образцов субстратов, отличающихся анионитной составляющей, в сочетании с катионитом ТОКЕМ-100

Субстрат	Анионитный компонент	Полная влагоемкость, % воды во влажном образце	Объемный вес влажного образца, г/мл	Набухание, г H_2O /г
БИОНА-111®	ЭДЭ-10П	47,0	0,74	0,89
БИОНА-111/А31	АН-31	47,6	0,68	0,86
БИОНА-111/А320	ТОКЕМ-320	47,3	0,63	0,89
БИОНА-111/А400	ТОКЕМ-400	52,7	0,67	0,92

Содержание биоэлементов в сухих субстратах

Элемент	Содержание элементов в субстратах, г/кг			
	БИОНА-111®	БИОНА-111/А31	БИОНА-111/А320	БИОНА-111/А400
Азот	11,47	14,74	21,21	10,55
Фосфор	6,35	8,80	1,27	4,52
Калий	9,97	13,40	11,38	13,78
Кальций	27,65	37,17	31,56	38,22
Магний	2,38	3,19	2,71	3,28
Сера	15,26	18,08	8,2	20,10
Σ	73,07	95,38	76,56	90,44

Таблица 5

Равновесный состав воды, используемой для полива растений, и растворов, образующихся при контакте образцов субстратов (10 г) с поливной водой (20 мл)

Субстрат	Концентрация, мэкв/л						рН	УЭП, μS
	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻		
Водопроводная вода	0	1,2	3,3	0,5	0,2	0	7,7	513
БИОНА-111	7,1	0,9	3,0	1,8	10,9	0,2	6,9	2112
БИОНА-111/А31	9,1	0,9	2,8	0,9	12,3	0,3	6,4	2324
БИОНА-111/А320	9,0	1,0	2,7	0,9	5,7	0,2	6,1	2118
БИОНА-111/А400	5,8	0,3	0,7	0,5	6,4	0,2	6,6	1997
Дистиллированная вода	0	0	0	0	0	0	6,8	2,16
БИОНА-111	4,8	1,8	0,6	0,3	6,2	0,1	6,9	1013
БИОНА-111/А31	5,0	0,3	1,0	0,2	6,8	0,1	6,5	1457
БИОНА-111/А320	3,2	0,2	0,4	0,1	1,9	0,1	6,1	1436
БИОНА-111/А400	1,1	0,1	0,1	0,1	1,2	0,1	6,4	1481

Результаты биологического эксперимента по выращиванию салата листового *Lactuca sativa* L. на чистых 100 %-х субстратах иллюстрируются рисунками 1 и 2. Все новые субстраты не вызывают корневые ожоги и по плодородию находятся на уровне контрольного образца БИОНА-111®. Растения, выросшие на новых субстратах не имели отклонений от растений, выросших на контрольном образце БИОНА-111®. Количество нитратов в листьях растений салата находится в пределах от 300 до 1000 мг/кг зеленой биомассы, что значительно ниже предельно допустимых концентраций нитратов сырого продукта (1500 мг/кг), установленных санитарной службой РБ [16].

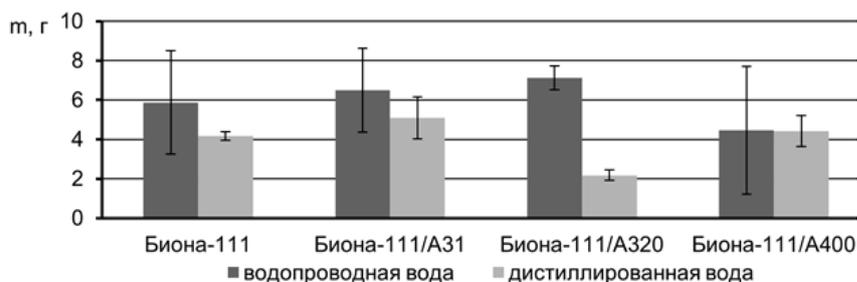


Рис. 1. Средняя биомасса растений салата, выросших на 100 %-х ионитных субстратах при поливе водопроводной и дистиллированной водой. Вазоны V = 50 см³, срок выращивания – 30 дней

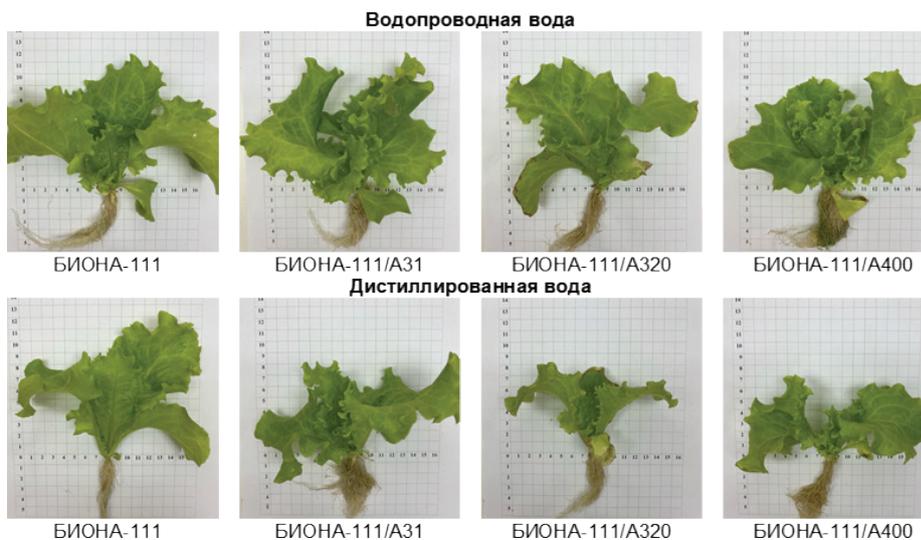


Рис. 2. Фотографии растений салата, выросших на 100 %-х ионитных субстратах при поливе водопроводной и дистиллированной водой. Вазоны V = 50 см³, срок выращивания – 30 дней

Для установления ресурса новых субстратов был проведен биологический эксперимент по выращиванию райграса пастбищного *Lolium perenne* L. в условиях ограниченного питания. Выращивание проводили на смеси бесплодного кварцевого песка с 2 %-й (по объему) добавкой влажного ионитного субстрата (5 г на 250 см³). В каждый вазон высаживались 36 семян. Для определения запаса питательных веществ до полного истощения полив осуществлялся водопроводной и дистиллированной водой. В ходе эксперимента было проведено 4 вегетации растений. Одна вегетация составила 30 суток. По окончании каждой вегетации измеряли среднюю высоту, проводили срез на уровне 1 см выше точки роста и определяли вес сырой и сухой массы надземной части растений.

Высота растений первой вегетации во всех случаях была приблизительно одинаковой и составила 31–42 см. В последующих вегетациях этот показатель значительно уменьшался, как и продуктивность субстратов. На рисунке 3 представлена зависимость продуктивности всех испытанных субстратов от вегетации.

Использование 2 %-й объемной добавки ионитных субстратов к песку, что в пересчете равно 2,2–2,5 г абсолютно сухого субстрата, оказалось достаточным для выращивания только одной вегетации растений. В последующих вегетациях наблюдается значительное уменьшение продуктивности субстратов. Биомасса растений, полученная в последних вегетациях отличается низким процентным содержанием воды, что также свидетельствует о снижении уровня питательных веществ в субстратах (табл. 6).

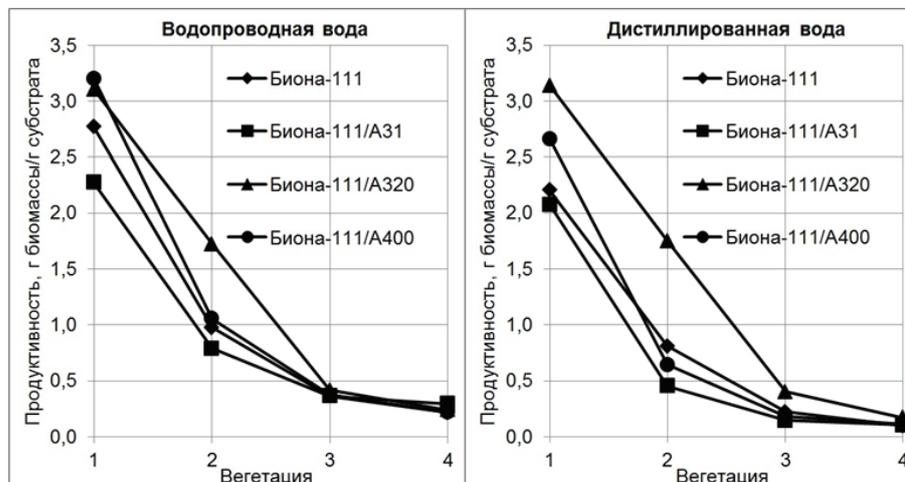


Рис. 3. Зависимость продуктивности субстратов от вегетации при выращивании райграса на песке с 2 %-й добавкой субстратов на вазон $V = 250 \text{ см}^3$ при поливе водопроводной и дистиллированной водой

Таблица 6

Урожай райграса, полученный за 4 вегетации в пересчете на 1 г абсолютно сухого субстрата, и процентное содержание воды в зеленой биомассе растений в каждой вегетации

Субстрат	Водопроводная вода					Дистиллированная вода				
	Урожай, г/г	Содержание воды в биомассе, %				Урожай, г/г	Содержание воды в биомассе, %			
		1	2	3	4		1	2	3	4
БИОНА-111	4,33	86,24	83,93	82,95	81,93	3,33	85,32	76,20	73,26	73,21
БИОНА-111/А31	3,73	86,30	83,74	82,79	81,21	2,78	85,83	75,71	72,09	72,66
БИОНА-111/А320	5,48	90,09	86,07	82,91	81,00	5,46	88,09	84,22	74,94	74,04
БИОНА-111/А400	4,86	86,96	83,13	82,49	81,17	3,60	89,65	78,19	72,02	72,00

В таблице 6 представлены величины условного урожая (сырая биомасса на г субстрата), полученного за 4 вегетации со всех испытанных субстратов при поливе водопроводной и дистиллированной водой. Самый лучший результат продемонстрировал субстрат БИОНА-111/А320. Причем биомасса райграса, выросшего на этом субстрате, практически не зависит от состава поливной воды (рис. 3). Плодородие остальных новых субстратов находится на уровне контрольного

образца БИОНА-111®. Рисунок 4 отображает средние значения общей сырой биомассы растений райграса, выросших на песке с 2 %-ми добавками разных субстратов. Количество нитратов в зеленой биомассе находилось в пределах допустимой нормы [16].

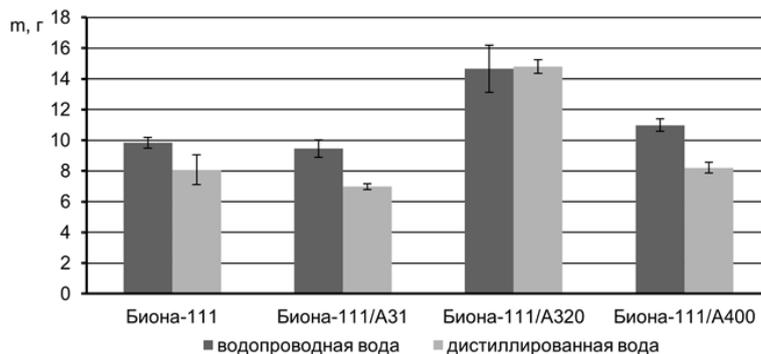


Рис. 4. Среднее значение общей биомассы растений райграса, выросших на песке с 2 %-й добавкой субстратов на вазон $V = 250 \text{ см}^3$ при поливе водопроводной и дистиллированной водой за 4 вегетации

Кроме этого на 2 %-й объемной добавке субстратов была проверена возможность выращивания растений земляники лесной *Fragaria vesca* L. и перца стручкового *Capsicum annuum* L. Все исследуемые субстраты оказали положительное влияние для растений земляники на развитие компактных кустов, с объёмом кроны около 700 см^3 , на которых за период роста 120 дней сформировалось 10–15 крупных, очень ароматных, сладких ягод конической формы. У растений перца, росших на питательных грунтах с добавками исследуемых субстратов, на 50-й день роста были прямые стебли высотой 12–16 см и крупные листья, что свидетельствует о хорошем развитии растений.

Результаты биологических экспериментов по выращиванию томатов вишневидных *Lycopersicon esculentum* L. и бархатцев мелкоцветных *Tagetes patula* L. на питательных средах с 20 %-й объемной добавкой субстратов к инертному песку представлены на рисунках 5 и 6.

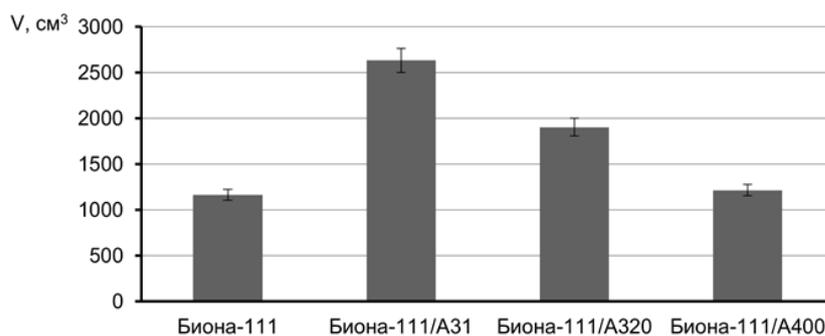


Рис. 5. Среднее значение объёма кроны томатов на 40-й день роста в вазонах $V = 250 \text{ см}^3$ с 20 %-й добавкой субстратов к песку при поливе водопроводной водой



Рис. 6. Фотографии бархатцев на 90-й день роста в вазонах $V = 250\text{см}^3$ с 20%-й добавкой субстратов к песку при поливе водопроводной водой

Самое высокое значение объема кроны томатов наблюдалось после выращивания на субстратах БИОНА-111/А31 и БИОНА-111/А320. Плодородие БИОНА-111/А400 относительно томатов находится на уровне контрольного образца БИОНА-111®.

Выращивание бархатцев мелкоцветных на всех изученных в работе ионообменных субстратах было эффективным. Добавка 20 % к песку позволяет выращивать растения более 90 дней при регулярном поливе водопроводной водой без внесения дополнительных питательных веществ (рис. 6).

В эксперименте с 2 %-й объемной добавкой субстратов к коммерческому питательному почвогрунту «Универсальный» серии «Гаспалдар», ионный состав водной вытяжки которого представлен в таблице 7, все субстраты продемонстрировали положительный эффект на развитие густой размашистой кроны томатов, по сравнению с растениями, которые росли на почвогрунте без добавки питательных субстратов. Объем кроны томатов, росших на питательных средах с добавкой ионитных субстратов на 50-й день роста колебался в пределах $1200\text{--}1500\text{ см}^3$ (рис. 7, 8), что в 40 раз больше объема кроны томатов, росших на почвогрунте без добавок.

Таблица 7

Равновесный состав раствора, образующегося при контакте образца почвогрунта «Универсальный» серии «Гаспалдар» (5 г) с поливной водой (40 мл)

Показатель	Концентрация, мэкв/л							рН	УЭП, μS
	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	SO_4^{2-}	NO_3^-	H_2PO_4^-		
Поливная вода	0	0	1,2	3,3	0,5	0,2	0	7,7	513
Почвогрунт «Универсальный» серии «Гаспалдар»	3,0	0,1	1,5	4,6	0,4	4,6	0	6,86	1195

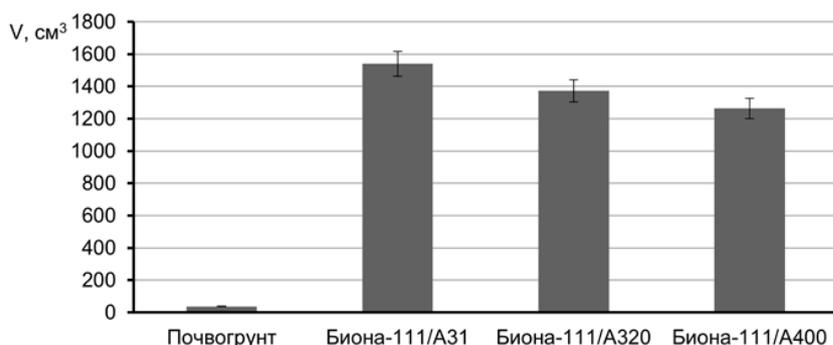


Рис. 7. Среднее значение объема кроны томатов на 50-й день роста (вазоны V = 250 см³ с 2%-й добавкой субстратов к почвогрунту «Универсальный» серии «Гаспадар», полив водопроводной водой)



Рис. 8. Фотографии томатов на 50-й день роста (вазоны V = 250 см³ с 2%-й добавкой субстратов к почвогрунту «Универсальный» серии «Гаспадар», полив водопроводной водой)

Аналогичным образом высота растений на 50-й день роста отличалась в три раза в пользу растений, росших с добавками субстратов. Положительный эффект добавки субстратов к почвогрунту стал заметен уже после седьмого дня роста растений. Вероятно, полученные результаты для данного почвогрунта связаны с отсутствием фосфора и низким содержанием калия, что определялось анализом его водной вытяжки (табл. 7).

ВЫВОДЫ

Все исследованные в работе аниониты – АН-31, ТОКЕМ-320 и ТОКЕМ-400 пригодны для использования в качестве анионообменных компонентов субстратов. Растения, выращенные на новых субстратах не имели отклонений от растений выросших на контрольном образце БИОНА-111®.

Эффективно использование небольших добавок (2 %) субстратов БИОНА к бесплодному песку и/или почвогрунту «Гаспадар». Запас питательных веществ субстратов позволяет получить до 6 г сырой биомассы с 1 г сухого субстрата. Наилучший результат показал субстрат с анионитом ТОКЕМ-320, который удерживает наибольшее количество лимитированного элемента – азота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красинская, Т. А. Основные характеристики субстратов, применяемых в сельском хозяйстве / Т. А. Красинская, Н. В. Кухарчик // Плодоводство. – 2011. – Т. 23. – С. 402–419.
2. Солдатов, В. С. Ионитные почвы / В. С. Солдатов, Н. Г. Перышкина, Р. П. Хорошко. – Минск: Наука и техника, 1978. – 270 с.
3. БИОНА – зарегистрированный товарный знак ионообменных субстратов для выращивания и размножения растений [сайт] // ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси». – URL: <https://ifoch.by/research/biona/> (дата обращения: 24.06.2024).
4. Колбанова, Е. В. Клональное микроразмножение смородины черной сорта Дабрадзья / Е. В. Колбанова // Плодоводство. – 2016. – Т. 28, № 1. – С. 162–169.
5. Изучение эмбриогенной способности различных генотипов озимого рапса в культуре *in vitro* / Е. Н. Куликович, Я. Э. Пилюк, Н. Л. Ермоленко [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2021. – Т. 57. – С. 371–377.
6. Куликович, Е. Н. Оценка эффективности использования различных видов эксплантов гороха посевного при микрклональном размножении в культуре *in vitro* / Е. Н. Куликович, Н. Л. Ермоленко, Е. Н. Барчевская // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2023. – № 59. – С. 302–309.
7. Красинская, Т. А. Адаптационный процесс растений-регенерантов, выращенных в культуре *in vitro*, в условиях *ex vitro* и способы его улучшения / Т. А. Красинская, Н. В. Кухарчик, М. С. Кастрицкая // Плодоводство. – 2010. – Т. 22, № 1. – С. 309–320.
8. Рундя, А. П. Влияние субстрата на адаптацию сортов вишни *ex vitro* / А. П. Рундя, Т. Н. Виск, Н. В. Кухарчик // Плодоводство. – 2018. – Т. 30, № 1. – С. 99–103.
9. Бободжанова, Х. И. Оценка эффективности ризогенеза *in vitro* и адаптации *ex vitro* сортов винограда таджикской селекции / Х. И. Бободжанова, Н. В. Кухарчик // Вестник БГСХА. – 2022. – № 2. – С. 105–111.
10. Изучение генетического полиморфизма у клонированных форм межвидовых гибридов овса методом электрофореза авенинов / Е. Н. Куликович, Е. Л. Долгова, И. Н. Сеница [и др.] // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2021. – № 57. – С. 308–315.
11. Подлужный, Г. И. Использование ионообменных субстратов при выращивании оздоровленных рассады и миниклубней картофеля / Г. И. Подлужный, Т. В. Подлужная // Пути интенсификации земледелия в условиях загрязнения Могилевской области: науч. тр. / Акад. аграр. наук Респ. Беларусь, Могилев. обл. комитет по с.-х. и продовольствию, Могилев. гос. обл. с.-х. опыт. станция; редкол.: Г. М. Пишходский [и др.]. – Дашковка, 1998. – С. 44–48.
12. Полянский, Н. Г. Методы исследования ионитов / Н. Г. Полянский, Г. В. Горбунов, Н. А. Полянская. – М.: Химия, 1976. – 208 с.
13. Кидин, В. В. Практикум по агрохимии: уч. пособ. / В. В. Кидин, И. П. Дерюгин. – М.: Колос, 2008. – 599 с.
14. Солдатов, В. С. Динамика роста растений томата на смесях цеолитного субстрата и верхового торфа / В. С. Солдатов, А. П. Езубец // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1. – С. 161–171.

15. Каталог продукции для водоподготовки в энергетике [сайт] // ТОКЕМ. – 2018. – 63 с. – URL: <https://www.tokem.ru/images/products/energy.pdf> (дата обращения: 24.06.2024).

16. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам», Гигиенического норматива «Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов» и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства здравоохранения Республики Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Министерства здравоохранения РБ, 21 июня 2013 г., № 52 // Министерство антимонопольного регулирования и торговли Республики Беларусь. – URL: <https://mart.gov.by/files/live/sites/mart/files/documents/НПА/Постановление%20МЗ%20от%2021.06.2013%20№%2052.pdf> (дата обращения: 30.05.2024).

ION EXCHANGE BIONA SUBSTRATES WITH NEW ANION EXCHANGE COMPONENTS

L. N. Shachenkova, H. P. Yezubets, N. V. Vansovich

Summary

The article presents the results of a study of the possibility of using new industrial ion exchangers such as TOKEM and AN-31 as carriers of anions of nutritional elements for plants. Their working exchange capacity for anions of the main nutrients (NO_3^- , SO_4^{2-} , $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$) and water-holding capacity were determined. Using anion exchangers AN-31, TOKEM-320, TOKEM-400 and cation exchanger TOKEM-100, three variants of ion-exchange substrates were obtained. The quality of the obtained substrates was assessed in preliminary laboratory experiments on growing leaf lettuce *Lactuca sativa* L., perennial ryegrass *Lolium perenne* L., capsicum *Capsicum annuum* L., wild strawberry *Fragaria vesca* L., cherry tomatoes *Lycopersicon cerasus* L. and marigold *Tagetes patula* L. on 100 % substrates and their mixtures with infertile sand or soil for growing vegetable and flower crops. The fertility of substrates was assessed by the amount of fresh and dry biomass per gram of substrate. It has been established that all the studied anion exchangers are useful for producing ion-exchange substrates with fertility at the level of the previously developed BIONA-111® substrate.

Поступила 30.08.24