

УДК 631.589.3:635.64

Л. А. ВЕРЕМЕЙЧИК

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ
МИНЕРАЛЬНЫХ КОРНЕОБИТАЕМЫХ СРЕД
НА УРОЖАЙНОСТЬ ПЛОДОВ ТОМАТА**

Белорусский государственный аграрный технический университет

(Поступила в редакцию 08.03.2005)

Введение. Для получения высокой урожайности растений, выращиваемых на искусственных почвозаменителях в регулируемых условиях, необходимо знать особенности взаимодействия в системе корнеобитаемая среда — растение. В результате совокупной деятельности минеральных субстратов и растений при определенных климатических режимах происходят различные изменения в корнеобитаемой среде, присущие почве. Первоначально инертный субстрат с течением времени под влиянием выделений корневой системы и питательного раствора преобразуется в сложную подвижную систему с характерными свойствами, претерпевающую дальнейшие превращения.

В свою очередь, поступившие в субстрат питательные растворы в виде хорошо растворимых солей при тесном соприкосновении с корнеобитаемой средой, корневой системой растений и микроорганизмами также неизбежно подвергаются различным изменениям.

Можно предположить, что подобно почве минеральные субстраты претерпевают эволюционные преобразования, скорость прохождения которых зависит от их происхождения, а следовательно, присущих им свойств. Изменения в минеральных корнеобитаемых средах происходят под влиянием процессов выветривания, денудации и аккумуляции, такие процессы превращений характерны для почвы [1]. Выветривание — это разрушение минеральных агрегатов под действием воды, воздуха, колебаний температуры, жизнедеятельности микроорганизмов, а также процессов, возникающих при контакте с корневой системой растений и питательным раствором. Создаваемые при этом продукты выветривания подвергнуты процессам денудации — дальнейшее разрушение и перемещение раздробленного или химически растворенного материала под влиянием силы тяжести и текучести питательного раствора. Выветривание только подготавливает материал для денудации и не приводит к серьезному изменению минералов. Установлено, что наиболее активную работу по разрушению почвенных минералов и продуктов их выветривания производят текучие воды [1]. Аккумуляция (осадконакопление) — это сумма всех процессов накопления продуктов выветривания, которые приводят к их закреплению в корнеобитаемых средах под влиянием химических элементов, органического вещества и продуктов жизнедеятельности микроорганизмов. Интенсивность таких процессов зависит от длительности использования субстрата и уровня микробиологической деятельности, то есть от наличия и активности микроорганизмов, а также от свойств субстрата (аэрации, влажности), климатических условий (колебания температуры) и других факторов.

По данным исследователей [2, 3], в субстратах при длительном их использовании сформировалось сложное по составу сообщество живых организмов (биоценоз), которое посредством метаболитов и продуктов их деструкции воздействует на минералы корнеобитаемых сред для извлечения недостающих биоте минеральных элементов, что приводит к их разрушению. Из этого следует, что процесс разрушения искусственных минеральных субстратов при длительном выращивании на них растений в регулируемых условиях сходен с почвообразованием. Но данные процессы в контролируемых условиях протекают быстрее, чем в почве, где преобразования проходят под влиянием природных факторов.

По мнению академика РАСХН Е. И. Ермакова, весьма актуальными являются исследования, касающиеся эволюционной трансформации минеральных и других корнеобитаемых

сред под действием биогенных факторов с целью управления процессами питания, что способствует повышению урожайности и улучшению качества продукции [3, 4]. Корнеобитаемые среды представляют собой важное звено, в котором химические элементы способны накапливаться или утрачиваться в результате выноса растениями и отторжения миграционными процессами. В связи с этим очень важными являются мониторинговые исследования, предполагающие контроль за состоянием химического и микробиологического состава, а также агрофизических свойств минеральных субстратов при их сельскохозяйственном использовании.

Цель исследований — анализ временных изменений валового химического состава, наличия микроорганизмов и динамики агрофизических свойств различных минеральных субстратов, позволяющих определить оптимальный срок их использования.

Материалы и методы исследования. Производственные опыты проводились в 2000—2004 гг. в тепличном комбинате СПК «Озеричский» Смолевического района Минской области на площади 220 м².

В качестве корнеобитаемых сред непрерывно в течение 5 лет использовались отечественные строительные материалы — аглопорит, керамзит, перлит. Для контроля применялась минеральная вата (Голландия), которая использовалась не более 2 лет.

На инертных минеральных субстратах по малообъемной технологии голландской фирмы «Агротех-Дидам» выращивались томаты гибридов Маева и Раисса.

Анализы химического валового состава и агрофизических свойств субстратов выполнялись в испытательном центре Института строительных материалов в соответствии с ГОСТ: химический состав — ГОСТ 2642-97 (аглопорит, керамзит, минеральная вата), ГОСТ 5382-91 (перлит); плотность субстратов — ГОСТ 9758, механическая прочность, водопоглощение — СТБ 1217. Исследования качественного состава и количественного содержания микроорганизмов в субстратах проводились в Институте микробиологии НАН Беларуси.

Характеризуя условия микроклимата в теплице за исследуемый период, следует указать, что наблюдались кратковременные отклонения от требуемых оптимальных значений температуры и влажности воздуха при возделывании томатов в условиях гидропоники, это объясняется старой конструкцией теплиц и невозможностью полной автоматизации управления процессами работ фрамуг и теплоносителей. С учетом того, что все варианты опыта находились в идентичных условиях, можно считать, что влияние микроклимата культивационных помещений было одинаковым при формировании урожая томатов, возделываемых на различных субстратах.

Использование новых субстратов для малообъемной гидропоники требовало проводить корректировку режимов полива с целью создания для корневой системы томатов благоприятного водно-воздушного и питательного режимов. В последние годы в прикладной агрохимии развивается новое направление — специализированное питание растений, сочетающее управление ростом и развитием культуры для максимальной урожайности, улучшения внешнего вида и вкусовых качеств продукции [5].

С учетом результатов, полученных в лабораторных опытах, вносились определенные изменения в режимы питания томатов на минеральных субстратах. Так, в первые 2—3 недели после посадки растения поливались редко, но обильно. Для лучшего укоренения рассады в начале проводились дополнительные поливы из расчета 100—150 мл на одно растение в сутки. Когда растение хорошо укоренялось, снижалось количество подаваемого питательного раствора. В дальнейшем программа поливов корректировалась в зависимости от освещенности, объемного выхода дренажного раствора с соблюдением показателей концентрации элементов питания и pH субстратов на заданном уровне.

Корректировка используемой системы питания томатов позволила создать благоприятный водно-воздушный режим, что способствовало нормальному развитию растений. Ориентиром оптимизации питания растений являлась визуальная диагностика: окраска листьев, характер формирования верхушки центрального побега, а также образование и рост основных органов, и в конечном итоге формирование урожайности плодов.

С целью определения долговечности эксплуатации почвозаменителей для возделывания томатов по малообъемной технологии и их влияния на урожайность были проведены наблюдения за изменением их свойств.

Результаты и их обсуждение. Как показали результаты пятилетних опытов (табл. 1), элементарный состав субстратов с течением времени претерпевал изменения. Так, содержание оксидов кремния во всех субстратах уменьшилось, за исключением аглопорита, в котором оно оставалось на первоначальном уровне. Наибольшие потери кремния наблюдались в субстрате из перлита — 16,7%.

Т а б л и ц а 1. **Изменение валового содержания химических элементов в зависимости от сроков эксплуатации минеральных субстратов, % от сухого вещества**

Вариант	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO	
	2000	2004	2000	2004	2000	2004	2000	2004	2000	2004	2000	2004
Минеральная вата	46,0	40,5	12,4	12,7	9,54	5,14	0,31	2,20	1,03	1,40	17,3	23,0
Аглопорит	78,4	79,1	7,80	8,92	5,47	3,08	0,12	0,29	2,74	1,68	1,64	17,3
Керамзит	57,3	55,3	16,9	18,4	10,5	8,05	0,15	0,45	4,89	3,80	5,86	6,56
Перлит	75,3	58,6	12,3	7,58	2,31	1,83	н. о	0,65	4,88	4,16	1,14	4,97
НСР ₀₅	1,46	1,83	1,53	1,47	0,46	0,51	0,03	0,07	0,08	0,19	0,51	0,14
Вариант	MgO		Na ₂ O		Ti O ₂		SO ₃		Потери при прокальвании (п. п. п.)			
	2000	2004	2000	2004	2000	2004	2000	2004	2000	2004		
Минеральная вата	8,82	10,2	2,15	1,84	1,97	1,43	н. о	1,62	н. о	—		
Аглопорит	0,78	0,81	0,89	1,01	0,50	0,45	н. о	0,60	1,87	2,66		
Керамзит	2,59	3,20	0,68	0,80	0,56	0,88	н. о	0,26	0,18	2,23		
Перлит	0,60	1,69	2,24	2,19	0,11	0,12	н. о	3,40	1,53	14,6		
НСР ₀₅	0,17	0,09	0,06	0,04	0,08	0,06	—	0,06	0,07	1,10		

Содержание Al₂O₃ к концу пятилетнего использования примерно на 1% увеличилось в аглопорите и керамзите, а в перлите снизилось почти на 4,5%. Во всех субстратах происходило уменьшение валового содержания Fe₂O₃: в аглопорите и керамзите на 2% и незначительно в перлите.

Считается, что содержание валовых SiO₂, Al₂O₃ и Fe₂O₃ в процессе окультуривания почв изменяется незначительно, сохраняя соответствующие соотношения для каждого зонального типа [1], эта закономерность характерна и для корнеобитаемых сред.

Установлено, что в керамзите происходило постепенное увеличение оксидов кальция на 0,70%, фосфора — на 0,30, магния — на 0,61, натрия стало больше на 0,12%. Несколько убывало в нем содержание оксидов калия — их стало меньше на 1,09%. Аналогичные изменения произошли за этот период в валовом химическом составе аглопорита, за исключением некоторого увеличения оксидов кремния.

В перлите отмечалось более значительное возрастание валового фосфора: первоначально он отсутствовал, через 5 лет его содержание составило 0,65%. Увеличивалось содержание кальция (от 1,14 до 4,97%) и магния (от 0,60 до 1,69%). Несколько снизилось содержание калия и натрия.

Можно предположить, что с течением времени в субстратах происходит разрушение кристаллической решетки минералов и переход некоторого количества элементов из необходимого состояния в усвояемую для растений форму или их закрепление в агрегатах корнеобитаемых сред.

Известно, что сера находится в почве преимущественно в органической форме и только 10—15% в форме SO₄²⁻, валовые запасы серы определяются в значительной мере наличием в почве гумуса [6]. Первоначально в минеральных субстратах сера не была обнаружена. Через год это соединение было зафиксировано в аглопорите, через 2 года оно присутствовало во всех субстратах, наибольшее его количество после пятилетнего срока использования отмечалось в перлите — 3,40%.

Долю накопления органического вещества в субстратах отражают потери при прокаливании, которые с течением времени также значительно увеличивались. Так, их содержание оказалось наибольшим в субстрате из перлита — 14,6%, примерно одинаковое их количество было в аглопорите и керамзите — 2,66 и 2,33% соответственно.

В результате проведенного микробиологического анализа различных субстратов выявлено, что первоначально инертные материалы через 5 лет эксплуатации значительно обсеменяются микроорганизмами. Наибольшее количество в составе их микробиоценозов составляют аммонифицирующие, усваивающие минеральный азот и алигонитрофильные микроорганизмы. Одну из многочисленных групп микроорганизмов, обнаруженных в субстратах, составляют микромицеты. Главной функцией, выполняемой ими в биоценозах, является минерализация органического вещества, в том числе и малодоступного для других микроорганизмов. Наиболее высокой оказалась общая биогенность субстрата из керамзита, которая составила 16,9 · 10⁸ КОЕ/г абсолютно сухого субстрата и была выше в 2,8 раза, чем на перлите и в 9,9 раза превышала этот показатель на аглопорите.

Полученные данные и выявленные различия в количественном и качественном составе содержания микроорганизмов являются важными показателями корнеобитаемой среды, определяющими, наряду с другими свойствами субстратов, длительность их использования.

От интенсивности и характера изменений химического состава минералов субстратов зависят их агрофизические свойства. Так, с течением времени значительно уменьшалась механическая прочность перлита, незначительно изменилась эта величина в керамзите и несколько возросла в аглопорите. Прочность корнеобитаемых сред находилась в пределах величин, характерных для осадочных пород.

Практически не изменилась в аглопорите плотность, однако увеличивались плотность твердой фазы, влагоемкость и пористость. В субстрате из керамзита уменьшалась его плотность, но плотность твердой фазы оставалась без изменений, в то же время возрастала влагоемкость и пористость. В перлите произошло увеличение плотности твердой фазы, снижение влагоемкости, а показатели плотности и пористости практически оставались на прежнем уровне.

В составе всех субстратов произошло уменьшение твердой фазы. Анализ опытных данных показывает, что в процессе использования для субстратов из аглопорита и перлита характерно увеличение мелкозема (частицы <1,0 мм): через 5 лет в аглопорите его оказалось в 1,43, в перлите — 1,19 раз больше по сравнению с первоначальными показателями. В субстрате из керамзита, напротив, отмечалось уменьшение этой фракции: очевидно, при разрушении агрегатов мельчайшие частички вымывались вместе с дренажем.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что характер изменения минеральных корнеобитаемых сред при длительном выращивании на них томатов в регулируемых условиях сходен с почвообразованием, так как включает два наиболее важных процесса: выветривание минералов и накопление органического вещества.

Таким образом, через 5 лет непрерывного культивирования томатов при регулируемом поступлении тепла, света и элементов минерального питания первоначально абиогенная порода превращается в биокосное тело, сходное с почвой.

В процессе эволюционной трансформации минеральных субстратов в них происходят изменения валового химического состава, агрофизических свойств и содержания микроорганизмов, что не может не отразиться на урожайности томатов.

Результаты исследований по формированию урожая показывают, что уже в самом начале плодоношения в 2004 г. установлена разница в продуктивности томатов, возделываемых на различных минеральных субстратах. Наибольшей продуктивностью на 1 июня характеризовался субстрат из перлита (сбор раннего урожая плодов томатов составил 7,6 кг/м²), несколько меньшей была эта величина на субстрате из минеральной ваты (7,0, кг/м²). Практически такие же показатели (по 6,8 кг/м²) выхода ранней урожайности томатов за этот период получены на аглопорите и керамзите.

На основании этих данных можно заключить, что после пятилетнего использования минеральных субстратов из отечественных материалов выход раннего урожая приравнялся к показателям, полученным на субстрате из минеральной ваты. Максимальная урожайность плодов томатов за этот период отмечалась на растениях, выращенных на перлите.

Из табл. 2 видно, что средняя пятилетняя урожайность плодов томатов изменялась от 28,9 (субстраты из аглопорита и керамзита) до 32,5 кг/м² (перлит). Следовательно, достигнутый уровень продуктивности томатов, возделываемых в зимних теплицах, можно считать достаточно высоким с учетом конкретных условий хозяйства (средний урожай томатов в тепличном комбинате в 2004 г. составил 29,0 кг/м²).

Урожай томатов, выращенный на широко используемом в республике субстрате из минеральной ваты, закупаемой за рубежом и используемой не более 2 лет, составил 29,9 кг/м² (средние данные за 5 лет).

Т а б л и ц а 2. Влияние длительного применения минеральных субстратов на урожайность томатов, кг/м²

Вариант	Урожайность			Прибавка
	2000	2004	средняя за 5 лет	
Минеральная вата	30,5	29,0	29,9	—
Аглопорит	31,4	24,1	28,9	-1,0
Керамзит	32,9	24,4	28,9	-1,0
Перлит	35,8	32,5	32,5	+ 2,6
НСР ₀₅	0,78	2,18	—	—

Использование новых субстратов для малообъемной технологии с капельным орошением в течение 5 лет показало, что наивысшей продуктивностью, также как и сбором раннего урожая, отмечались растения, выращенные на корнеобитаемой среде из перлита, по сравнению с контролем прибавка урожая составляла 2,6 кг/м², или оказалась выше на 8,9%.

Несколько снизилась урожайность к пятому году эксплуатации субстратов из аглопорита и керамзита: в 2004 г. она была меньше на 4,9 и 4,6 кг/м² соответственно по сравнению с минеральной ватой. В среднем за 5 лет было получено на 1 кг/м² плодов томатов меньше на этих вариантах, чем на контроле.

Исходя из этих данных, можно считать, что непрерывное использование в качестве субстратов минеральных материалов из аглопорита и керамзита следует ограничить максимум пятилетним сроком эксплуатации, так как с пятого года урожайность на них начинает снижаться. Результаты исследований свидетельствуют, что субстрат из перлита можно использовать более длительный период, так как в течение пятилетнего применения урожайность томатов была на 8,9% выше, чем на минеральной вате, которая заменялась на новую через год ее эксплуатации.

Заключение. Характер изменения минеральных корнеобитаемых сред при длительном выращивании на них томатов в регулируемых условиях сходен с почвообразованием, так как включает два наиболее важных процесса — выветривание минералов и накопление органического вещества. Комплекс живых организмов воздействует на минеральные агрегаты субстратов и приводит к их постоянному разрушению, вызывающему изменения их химического состава и агрофизических свойств.

Использование сыпучих минеральных субстратов для возделывания томатов по малообъемной технологии экономически и экологически выгодно для условий Республики Беларусь. Наибольшая продуктивность плодов томатов отмечалась при непрерывном пятилетнем применении субстрата из перлита, средняя за 5 лет прибавка урожая составляла 2,6 кг/м² (8,9%) по сравнению с минеральной ватой, срок эксплуатации которой не более 2 лет. С учетом того, что на пятый год использования субстратов из аглопорита и керамзита урожайность томатов на них начала снижаться, следует ограничить длительность их эксплуатации пятилетним сроком.

Таким образом, в результате исследований установлено, что перспективным субстратом для нашей республики является керамзит, его преимущество: экологически безопасен, легко утилизируется, можно длительно использовать (5 лет), легкодоступен, для его приобретения не требуются валютные средства, так как производится в республике (г. Новолукомль).

Литература

1. Ц у р и к о в А. Т. Почвоведение. М., 1986.
2. Е р м а к о в Е. И. Роль биогенных факторов в изменении искусственных корнеобитаемых сред и теория их регенерации // Докл. ВАСХНИЛ. 1973. № 5. С. 4—7.
3. Е р м а к о в Е. И., З в е р е в а Т. С., Р ы б а л ь ч е н к о О. В. // Почвоведение. 2000. № 12. С. 1463—1471.
4. Е р м а к о в Е. И. // Аграрная наука. 2001. № 2. С. 14—16.
5. Г е р а с и м о в и ч Л. С., В е р е м е й ч и к Л. А., М и р о н о в и ч Т. А. и др. Малообъемная технология возделывания томатов на минеральных субстратах: Аналит. обзор. Мн., 2004.
6. К у л а к о в с к а я Т. П. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М., 1990.

VEREMEICHIK L. A.

INFLUENCE OF LONG-TERM APPLICATION OF MINERAL ROOT-INHABITED MEDIUM ONTO PRODUCTIVITY OF TOMATO FRUITS

Summary

Results of investigation of dynamics of properties changing of mineral friable substrates carrying out in hothouse conditions for proving their duration and optimization of food mode of operation improving tomato production have been presented. Perspective substrate for Republic of Belarus is the claydite possessing row of advantages.