

УДК 579:635.64

Л. А. СУХОВИЦКАЯ, Л. А. ВЕРЕМЕЙЧИК, Г. В. САФРОНОВА,
Н. В. КОРОЛЕНКО, А. А. ЛАНЦЕВИЧ*

**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА
МИКРООРГАНИЗМОВ В МИНЕРАЛЬНЫХ СУБСТРАТАХ,
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ТОМАТОВ**

*Институт микробиологии НАН Беларуси,
Белорусский государственный аграрный технический университет

(Поступила в редакцию 27.02.2006)

Введение. В природе при самом активном, широком участии микроорганизмов постоянно осуществляется два противоположных процесса: синтез из минеральных веществ сложных органических соединений и, наоборот, разложение органических веществ до минеральных. Единство этих противоположных процессов лежит в основе биологической роли микроорганизмов в круговороте веществ. Среди различных процессов превращения веществ, в которых микроорганизмы принимают активное участие, важнейшее значение для осуществления жизни растений имеют круговорот азота, углерода, фосфора, серы, железа.

В круговороте азота в природе участвуют микроорганизмы следующих агрономически ценных групп: аммонификаторы, олигонитрофильные, усваивающие минеральный азот микроорганизмы и, отчасти, целлюлозоразрушающие. Именно групповой состав микроорганизмов, связанных с циклом превращения азота, а также целлюлозоразлагающих микроорганизмов и микромицетов, наиболее показателен для оценки плодородия. Качественный состав и численность микроорганизмов этих физиологических групп является важным фактором, характеризующим пригодность почв и субстратов для выращивания растений и получения высоких урожаев. В каждую физиологическую группу входят совершенно разные в систематическом отношении микроорганизмы, но они объединяются общностью осуществляемых ими превращений и формируют микробные ценозы, которые могут оказывать значительное влияние на рост и развитие растений [1].

Выращивание овощей в малообъемной культуре на искусственных субстратах с капельным питанием растений занимает ведущее место в тепличном овощеводстве большинства индустриально развитых стран мира. В Республике Беларусь в настоящее время во многих тепличных комбинатах (более 80%) также преобладает малообъемная технология возделывания овощей.

В качестве субстратов для выращивания культур в большинстве хозяйств применяется минеральная вата импортного производства, стоимость которой составляет более 10 тысяч долларов США на га. При использовании данного субстрата возникает ряд проблем: работа с ним представляет определенную опасность с точки зрения гигиены, отсутствует возможность его утилизации, а также высокая стоимость [2, 3].

Для реализации Государственной программы по импортозамещению в научно-производственном центре тепличного овощеводства Белорусского государственного аграрного технического университета проводятся научные исследования по совершенствованию малообъемной технологии возделывания овощей в условиях защищенного грунта, в частности, изучение возможности использования в качестве субстратов материалов отечественного производства и определение для них оптимальной системы питания. Так, в тепличном комбинате СПК «Озеричский» с 2000 по 2004 г. проведены производственные опыты по изучению длительности применения в качестве

субстратов из минеральных материалов: керамзита, аглопорита, перлита для томатов, возделываемых в малообъемной культуре. Преимущество их использования заключается главным образом в импортозамещении и низкой стоимости (примерно в 10 раз дешевле минеральной ваты) [3].

Как известно, искусственные субстраты имеют сложную структуру. Они представляют собой трехмерные трехфазные системы, агрономические свойства которых определяются размером твердой фазы: гранул, волокон, лепестков и соотношением твердой, жидкой и газообразной фаз. Для обеспечения полноценного физиологического развития корневой системы растений необходимо сохранение благоприятных агрофизических и химических свойств и оптимальных соотношений между твердыми, жидкими и газообразными компонентами. С этой целью в качестве активной добавки в субстрат из керамзита вносилась глина в дисперсном состоянии [4, 5].

Установлено, что с течением времени первоначально инертный субстрат под влиянием выделений корневой системы и питательного раствора превращается в сложную подвижную систему с характерными свойствами. С течением вегетационного периода в корнеобитаемой среде (КС) формируется четвертая фаза, включающая корневую массу и биотический комплекс и существенно влияющая на гидрофизические и физико-химические свойства исходных КС [5]. Давление живого вещества на первоначально косные (по Виноградскому) минеральные корнеобитаемые среды сопровождается глубокими изменениями поверхностных свойств гранул [6]. Вероятно, это может в значительной мере определять пригодность этих субстратов для длительного интенсивного культивирования растений [7].

Одним из активных компонентов четвертой фазы являются микроорганизмы, которые служат важнейшим фактором разложения корневых остатков и превращения органических соединений. Изменение физических, химических и биохимических свойств субстратов влияет на видовой состав и численность микрофлоры, изменяет направленность микробиологических процессов, что сказывается на содержании органического вещества, развитии растений и их урожайности.

В связи с большой перспективностью выращивания овощных культур методом малообъемной гидропоники на искусственных субстратах специфика развития микроорганизмов агрономически ценных групп в корнеобитаемых средах имеет важное значение. Она отражает тенденцию протекания основных микробиологических процессов в используемых субстратах, что, наряду с другими показателями, определяет их пригодность для выращивания овощных культур.

Цель настоящей работы – исследовать качественный и количественный состав агрономически ценных групп микроорганизмов в субстратах, используемых для выращивания томатов методом малообъемной гидропоники в течение продолжительного времени.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования служили:

– субстраты: керамзит + глина, использовался для выращивания овощных культур гидропонным способом в течение 1-го года; перлит, аглопорит, керамзит (фр. 3–5 мм), использовались 5 лет; керамзит (фр. 5–10 мм), использовался в течение 2 лет. Все субстраты изначально были стерильны;

Микробиологическая характеристика субстратов, используемых для выращивания томатов гидропонным способом

Субстрат	Микроорганизмы агрономически ценных групп, КОЕ/г абс. сух. субстрата							
	аммонифицирующие	аммонификаторы споровые	усваивающие минеральный азот		олигонитрофильные	микромикеты	целлюлозоразрушающие	
			общее количество	в т. ч. актиномицетов			общее количество	в т. ч. бактерии
Керамзит + глина	$4,1 \pm 0,07 \cdot 10^8$	$1,29 \pm 0,064 \cdot 10^3$	$1,99 \pm 0,074 \cdot 10^9$	$1,04 \pm 0,017 \cdot 10^5$	$8,33 \pm 0,095 \cdot 10^9$	$2,90 \pm 0,061 \cdot 10^3$	$4,44 \pm 0,130 \cdot 10^4$	$1,22 \pm 0,095 \cdot 10^{4*}$
Перлит	$4,6 \pm 0,09 \cdot 10^7$	$1,12 \pm 0,029 \cdot 10^4$	$2,89 \pm 0,191 \cdot 10^{7*}$	$5,56 \pm 0,176 \cdot 10^4$	$5,29 \pm 0,177 \cdot 10^8$	$4,16 \pm 0,356 \cdot 10^{6*}$	$1,02 \pm 0,019 \cdot 10^5$	–
Аглопорит	$2,0 \pm 0,02 \cdot 10^7$	$1,10 \pm 0,004 \cdot 10^2$	$9,27 \pm 0,094 \cdot 10^7$	$1,54 \pm 0,074 \cdot 10^3$	$5,85 \pm 0,126 \cdot 10^7$	$7,02 \pm 0,129 \cdot 10^4$	$3,96 \pm 0,124 \cdot 10^4$	–
Керамзит (фр. 3–5 мм)	$3,8 \pm 0,01 \cdot 10^8$	$5,45 \pm 0,226 \cdot 10^3$	$3,14 \pm 0,117 \cdot 10^8$	$7,54 \pm 0,163 \cdot 10^5$	$9,96 \pm 0,075 \cdot 10^8$	$2,46 \pm 0,069 \cdot 10^4$	$3,32 \pm 0,307 \cdot 10^{4*}$	$1,44 \pm 0,045 \cdot 10^4$
Керамзит (фр. 5–10 мм)	$2,5 \pm 0,09 \cdot 10^7$	$1,07 \pm 0,032 \cdot 10^3$	$1,05 \pm 0,021 \cdot 10^7$	$5,23 \pm 0,064 \cdot 10^5$	$3,26 \pm 0,074 \cdot 10^6$	$8,34 \pm 0,181 \cdot 10^3$	$8,02 \pm 0,144 \cdot 10^3$	$5,64 \pm 0,138 \cdot 10^3$

* $P > 5\%$.

– микроорганизмы агрономически ценных групп: аммонифицирующие, в т. ч. споровые аммонификаторы, усваивающие минеральный азот, в т. ч. актиномицеты, олигонитрофильные, целлюлозоразрушающие (грибы и бактерии) и микромицеты.

Плотность популяций микроорганизмов определяли методом предельных разведений, используя плотные элективные питательные среды [8, 9]. Для обработки полученных данных использовали методы математической статистики [10, 11].

Результаты и их обсуждение. Экспериментальные данные, приведенные в таблице и на рис. 1–2, свидетельствуют, что при длительном выращивании растений в КС формируется сложный микробный комплекс, включающий бактерии, грибы и актиномицеты.

Исследование качественного состава микробоценозов субстратов показало, что во всех образцах преимущественное развитие имеют микроорганизмы, участвующие в круговороте азота: аммонифицирующие, усваивающие минеральный азот и олигонитрофильные микроорганизмы.

Аммонифицирующие неспоробразующие бактерии начинают процесс минерализации органического вещества, разрушая его доступные формы, при этом, наряду с микроскопическими грибами, доминируют на первых этапах минерализации. Результаты, представленные в табл., показывают, что численность микроорганизмов этой группы более высокая в субстратах керамзит + глина и керамзит мелкой фракции ($4,1$ и $3,8 \cdot 10^8$ КОЕ/г абс. субстрата). В перлите, аглопорите и керамзите (фр. 5–10 мм) она на порядок ниже.

Споровые аммонификаторы продолжают процесс аммонификации органического вещества, т. е. на более глубоких стадиях распада органического вещества эта группа может быть доминирующей. Большинство бацилл обладает мощным ферментативным аппаратом и деструктивными способностями. Они могут усваивать вещества, недоступные неспоросным бактериям и начинают развиваться на субстрате, обедненном

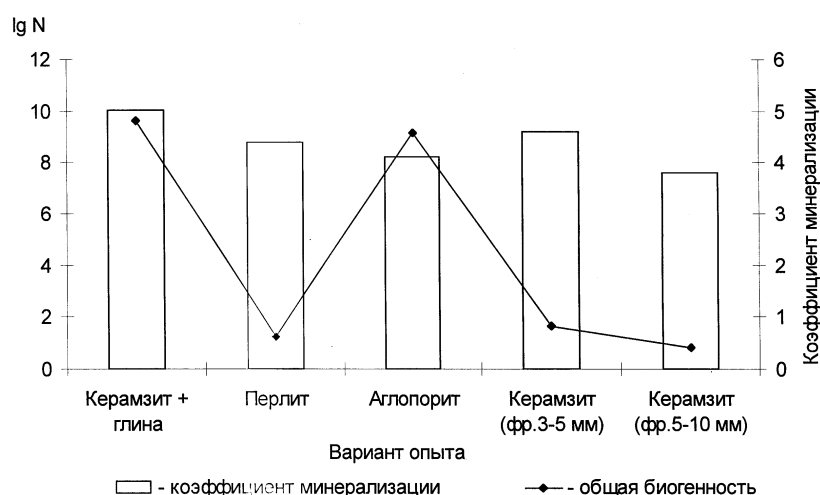


Рис. 1. Общая биогенность и коэффициент минерализации субстратов: N – численность микроорганизмов, КОЕ/г абс. сух. субстрата

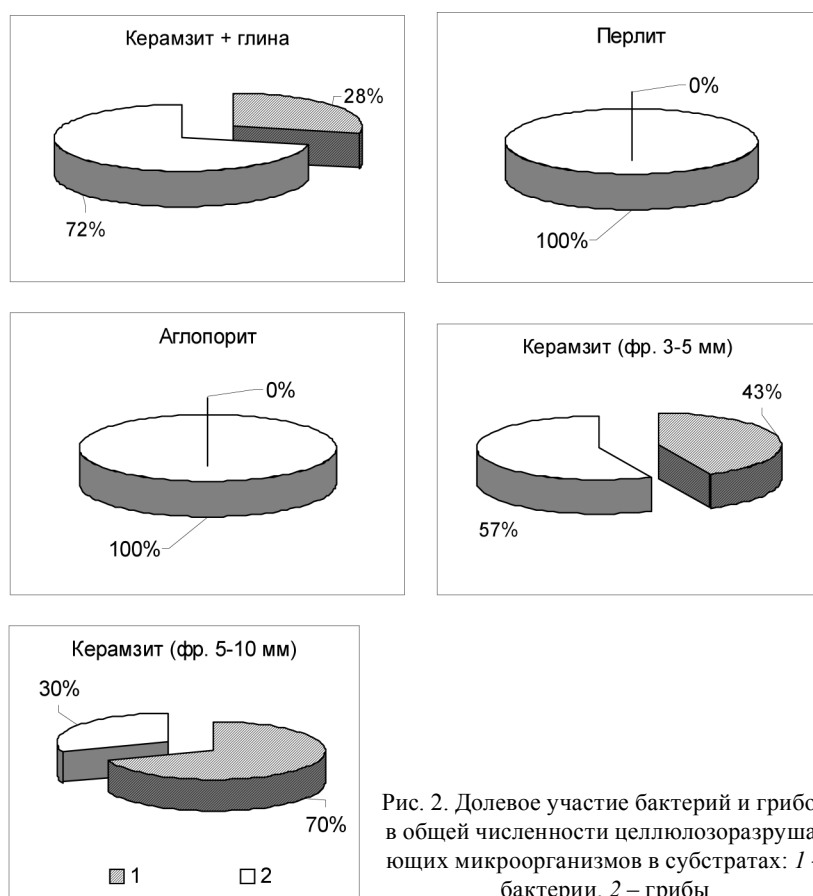


Рис. 2. Долевое участие бактерий и грибов в общей численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов в субстратах: 1 – бактерии, 2 – грибы

мобильными соединениями. Эта группа представлена бактериями р. *Bacillus* и широко распространена в природе. В исследованных нами образцах количество бацилл колебалось от $1,10 \cdot 10^2$ до $1,12 \cdot 10^4$ КОЕ/г абс. сух. субстрата. Преимущество по численности спорных аммонификаторов имел перлит. В керамзите + глина, керамзите (фр. 3–5 мм) и керамзите (фр. 5–10 мм) их количество в среднем в 4,3 раза ниже. Если брать соотношение неспорообразующих аммонифицирующих микроорганизмов к бациллам (по которому можно судить о стадии сукцессии в разложении органических веществ), то в варианте с перлитом оно выше. Минимально это соотношение в образцах керамзит + глина и керамзит (фр. 3–5 мм).

Микроорганизмы, усваивающие минеральный азот, являются показателем хода минерализации органического вещества. В исследованных образцах их количество составило от 10,5 млн до 1,99 млрд КОЕ/г абс. сух. субстрата. Наиболее высокая численность микроорганизмов этой группы выявлена также на керамзите с глиной. В целом численность микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, в разных субстратах колебалась в пределах двух порядков (10^7 – 10^9). Существенно представительство актиномицетов в составе этой группы микроорганизмов. Представлены они, в основном, культурами с малиновым воздушным мицелием. Исследуемые образцы по содержанию актиномицетов распределились следующим образом: керамзит мелкой фракции > керамзит крупной фракции > керамзит + глина > перлит > аглопорит, т. е. более всего их выявлено среди усваивающих минеральный азот микроорганизмов на керамзитовых субстратах.

Коэффициент минерализации (отношение численности микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, к аммонификаторам) (рис. 1) свидетельствует о том, что интенсивнее минерализационные процессы протекают в образцах керамзит + глина (4,82) и аглопорит (4,57). Мало отличаются по этому показателю перлит и керамзит мелкой фракции (0,62 и 0,83 соответственно), менее активно процесс минерализации идет в керамзите крупной фракции (0,42).

Олигонитрофильные микроорганизмы принимают участие во всех процессах (за исключением нитрификации), связанных с превращением углерода и азота (способны усваивать очень многие органические и неорганические соединения углерода и азота). По сравнению с другими микроорганизмами они способны к разложению растительных остатков с широким соотношением С:N. В исследованных образцах численность микроорганизмов этой группы самая высокая. Наиболее обогащен олигонитрофилами образец керамзит + глина ($8,33 \cdot 10^9$ КОЕ/г абс. сух. субстрата), менее – керамзит крупной фракции (3,26 млн КОЕ/г абс. сух. субстрата). В остальных субстратах их численность была также значительной и находилась в пределах нескольких десятков и сотен миллионов КОЕ/г абс. сух. субстрата.

Микромицеты – группа микроорганизмов, различающихся таксономическим положением и экологическим местообитанием. Отдельные микроскопические грибы неодинаково требовательны к источникам азотного и углеродного питания, к температуре, кислотности среды и влажности; к тому же они могут существовать в широком диапазоне концентрации питательных веществ и осмотического давления. Несмотря на то что количество мицелиальных грибов на плотных питательных средах исчисляется тысячами, объем их биомассы превышает бактериальную в 100–1000 раз. Одной из функций, выполняемых грибами в биоценозах, является минерализация органического вещества. В исследованных образцах численность микромицетов составила от $2,90 \cdot 10^3$ до $4,14 \cdot 10^6$ КОЕ/г абс. сух. субстрата. Максимальное количество микроскопических грибов выявлено в перлите. В других образцах их численность была в среднем на 2,5 порядка ниже.

Целлюлозоразрушающие микроорганизмы являются хорошим показателем плодородия, так как целлюлоза является главным компонентом растительных остатков, а следовательно, главным источником энергии, поступающим в процессе ее разложения в почву. Разрушая целлюлозу, эти микроорганизмы обогащают субстрат не только углекислотой и органическими кислотами, но и многими доступными ионами макро- и микроэлементов. Особенности целлюлозоразрушающих микроорганизмов выражаются в требовательности их к источникам питания. Микроорганизмы, разрушающие целлюлозу, являются также важнейшими поставщиками органических веществ для разнообразных групп микроорганизмов, связанных общей трофической цепью. Как следует из полученных данных, по обсемененности целлюлозоразрушающими микроорганизмами, а следовательно, и по интенсивности разложения клетчатки корневых остатков исследуемые субстраты распределяются следующим образом: перлит → керамзит + глина → аглопорит → керамзит

(фр. 3–5 мм) → керамзит (5–10 мм) (см. табл.). Характерной особенностью является выявленное при анализе перлита и аглопорита доминирование микроскопических грибов в составе целлюлозоразрушающих микроорганизмов (рис. 2). На остальных субстратах процесс разложения клетчатки осуществляет как бактериальная, так и мицелиальная составляющая данного микробценоза. Бактериальная микрофлора наиболее активна на керамзите крупной фракции. Ее долевое участие в составе целлюлозоразрушающих микроорганизмов достигает 70%, на керамзите мелкой фракции – 57%, керамзите с глиной – 28%.

Заключение. В результате проведенного микробиологического анализа разных субстратов, используемых продолжительное время для выращивания томатов методом малообъемной гидропоники, определена численность микромицетов и микроорганизмов пяти агрономически ценных групп: аммонифицирующих, споровых аммонификаторов, усваивающих минеральный азот, олигонитрофильных, целлюлозоразрушающих.

Наиболее интенсивно исследованная микрофлора развивается на керамзите с глиной, где общая биогенность составляет 10,7 млрд КОЕ/г абс. сух. субстрата, что выше в 6,3 раза по сравнению с биогенностью керамзита мелкой фракции и почти на 3 порядка превышает биогенность керамзита крупной фракции. Наиболее многочисленны в составе их микробценозов аммонифицирующие, усваивающие минеральный азот и олигонитрофильные микроорганизмы.

Биогенность перлита в 3,5 раза выше аглопорита. Эти субстраты отличаются от керамзита и более высокой численностью микромицетного сообщества. Микробценоз перлита наиболее насыщен споровыми формами аммонифицирующих бактерий и грибов в сочетании с высокой численностью актиномицетов, среди которых чаще всего обнаруживаются фитотоксичные представители микробного сообщества.

Полученные данные микробиологического анализа разных минеральных субстратов представляют научный интерес и могут быть использованы, наряду с данными по изменению их химических и агрофизических свойств, для характеристики процессов, происходящих в корнеобитаемых средах при их длительном использовании, и при создании биотехнических комплексов, используемых в производстве овощной продукции.

Литература

1. Шлегель Г. Общая микробиология. М., 1983.
2. Веремейчик Л. А., Герасимович Л. С., Миронович Т. А. // Агрэканоміка. 2005. № 10. С. 31–32.
3. Веремейчик Л. А. // Белорусское сельское хозяйство. 2004. № 12. С. 15–16.
4. Веремейчик Л. А., Попов А. В. Влияние корнеобитаемых сред и режимов полива на формирование рассады томата / Стратегия и тактика экономически целесообразной адаптивной интенсификации земледелия: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 1–2 июля 2004 г. Т. 1. Земледелие и растениеводство. Мн., 2004. С. 225–230.
5. Герасимович Л. С., Веремейчик Л. А., Миронович Т. А. Оптимизация искусственных субстратов для выращивания овощей в малообъемной культуре / Стратегия и тактика экономически целесообразной адаптивной интенсификации земледелия: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 1–2 июля 2004 г. Т. 1. Земледелие и растениеводство. Мн., 2004. С. 219–225.
6. Ермаков Е. И. Теория и методы интенсивного культивирования растений в регулируемых условиях (на примере овощных культур): Дис. ... д-ра с.-х. наук в форме научного доклада. Л., 1987. С. 21.
7. Веремейчик Л. А. // Весці НАН Беларусі. Сер. аграр. навук. 2005. № 3. С. 59–63.
8. Теппер Е. С., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. Мн., 1972.
9. Сэги Й. Методы почвенной микробиологии. Мн., 1983.
10. Роклицкий П. Ф. Основы вариационной статистики для биологов. Мн., 1973.
11. Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии. Мн., 1980.

L. A. SUKHOVITSKAYA, L. A. VEREMEICHIK, H. V. SAFRONAVA, N. V. KARALENAK, A. A. LANTCEVICH
**CHANGES IN THE QUANTITY AND QUALITY OF MICROORGANISMS IN MINERAL SUBSTRATES
USED FOR GROWING TOMATOES**

Summary

Substantial differences in the colonization of substrates applied for growing tomatoes by the low-volume hydroponics technique with bacterial microflora and mycelial fungi were revealed. It was found that ammonifying, mineral N-digesting and oligonitrophilic species prevailed in the respective microbial cenoses. Examined bacterial and mycelial microflora developed most intensely on clay-ceramsite substrates: total biogenecity reached 10.7 bln CFU/g abs dry mass, the mineralization factor was equal to 4.82 which by the microbiological parameters motivated the benefits of applying this substrate in vegetable cultivation.