

УДК 581.143:579.64:631.811.98

Ж. Н. КАЛАЦКАЯ<sup>1</sup>, О. В. МОЛЧАН<sup>2</sup>, Н. А. ЛАМАН<sup>1</sup>, Э. И. КОЛОМИЕЦ<sup>2</sup>,  
М. А. БРАТАНОВА<sup>1</sup>, Т. Л. НАСОНОВА<sup>2</sup>, Т. В. ФРОЛОВА<sup>1</sup>, В. В. МИНКОВА<sup>1</sup>

### ФИТОСТИМУЛИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ ШТАММОВ *BACILLUS SUBTILIS* В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПОЧВОГРУНТОВ

<sup>1</sup>Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси,  
Минск, Беларусь, e-mail: kalatskayaj@mail.ru

<sup>2</sup>Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь, e-mail: olga.molchan@mail.ru

Установлены высокая приживаемость в почвогрунтах и ризосфере растений бактерий *Bacillus subtilis* штаммов М 9/6, 10/19 и 7МР, а также их способность эффективно подавлять развитие патогенов. Наиболее выраженная рострегулирующая активность обнаружена у *B. subtilis* М 9/6, при этом биомасса листьев салата листового увеличилась практически в 4,5 раза по сравнению с контролем (без применения удобрений). Добавление бентонита или глины в почвогрунт способствует увеличению продуктивности салата на 29,8 и 42,5 % соответственно в сравнении с такой у растений, выращиваемых на бактеризованном субстрате.

**Ключевые слова:** бактерии рода *Bacillus*, рострегулирующая и антагонистическая активность, органо-минеральные почвогрунты.

J. N. KALATSKAYA<sup>1</sup>, O. V. MOLCHAN<sup>2</sup>, N. A. LAMAN<sup>1</sup>, E. I. KOLOMIETS<sup>2</sup>,  
M. A. BRATANOVA<sup>1</sup>, T. L. NASONOVA<sup>2</sup>, T. V. FROLOVA<sup>1</sup>, V. V. MINKOVA<sup>1</sup>

### PLANT GROWTH PROMOTING EFFECT OF INTRODUCED *BACILLUS SUBTILIS* STRAINS DEPENDING ON THE COMPOSITION OF THE GROWING MEDIA

<sup>1</sup>V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus, e-mail: kalatskayaj@mail.ru

<sup>2</sup>Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, e-mail: olga.molchan@mail.ru

It was detected *Bacillus subtilis* strains М 9/6, 10/19 and 7MR achieved high survival rates in peat-based substrates and the rhizosphere of plants and the ability to inhibit the development of pathogens. Growth promotion activity detected in *B. subtilis* М 9/6, biomass of lettuce leaf increased almost 4.5 times compared with the control (without fertilizers). The addition of bentonite or clay in bacterial peat-based growing media increases the productivity of lettuce, respectively, 29.8 and 42.5 % in comparison with the plants grown on such substrate.

**Keywords:** bacteria *Bacillus* genus, promote plant growth, antagonistic activity, organic-mineral growing media.

**Введение.** В последнее время все большее внимание исследователей привлекает проблема создания биопрепаратов широкого спектра действия, основу которых составляют стимулирующие рост растений бактерии (СРРБ или PGRP – *plant growth promoting rhizobacteria*) [1, 2]. Эффекты СРРБ связывают с улучшением питания растений, продукцией биологически активных веществ, снижением численности фитопатогенов, индукцией системной устойчивости растений к стрессовым факторам абиотической и биотической природы [2–11]. Особое внимание среди СРРБ заслуживают аэробные спорообразующие бактерии рода *Bacillus*, характеризующиеся мощным биосинтетическим потенциалом в сочетании с высокой экологической пластичностью, а также технологичностью в применении [12–14].

Большое значение экологически безопасные биопрепараты приобретают при выращивании растений, которые употребляются в пищу в сыром виде, например зеленных культур. Результаты обследований зеленных культур, выращиваемых в тепличных хозяйствах республики методом

проточной гидропоники, свидетельствуют о существенных потерях урожая из-за высокой вредности корневой гнили. Кроме того, представители родов *Fusarium*, *Alternaria* и грибоподобные организмы рода *Pythium*, которые являются доминирующими патогенами на корневой системе зеленных культур, могут образовывать и выделять в субстрат токсичные экзометаболиты [15].

В гидропонной технологии при выращивании зеленных культур в качестве корнеобитаемой среды используют органические субстраты на основе торфа [16], к которым, с физиологической точки зрения, предъявляют следующие требования: они должны обеспечивать дружность (одновременность) всходов, максимально быстрые темпы накопления вегетативной массы, способствовать получению высоких урожаев при коротком периоде вегетации и длительному хранению продукции на корню в фазе хозяйственной годности.

На наш взгляд, достижение максимальных уровней продуктивности зеленных культур может быть осуществлено при оптимизации состава и соотношения компонентов, физико-химических свойств субстрата и при интродукции высокоэффективных форм микроорганизмов с полифункциональными свойствами в корнеобитаемую среду. Интродуценты должны обладать способностью хорошо приживаться в почвогрунтах и проявлять фитозащитное и ростстимулирующее действие не только на ранних стадиях развития растений, но и на протяжении всего периода вегетации.

Цель настоящей работы – изучение приживаемости и динамики развития интродуцированных бактерий-антагонистов *B. subtilis* штаммов М 9/6, 10/19 и 7МР в ризосфере растений и особенностей роста и развития салата листового на биологически активных органо-минеральных субстратах, различающихся компонентным составом.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования служил салат листовой (*Lactuca sativa* var. *crispa* L.) сортотипа Батавия, гибрид Афицион [17], предназначенный для малообъемной технологии, зимне-весеннего оборота. Период от всходов до технической спелости составляет 28 дней. Образует розетку листьев приподнятого типа диаметром 24–27 см, высотой 27 см [18].

В работе использованы выделенные штаммы М 9/6, 10/19 и 7МР спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis*, проявляющие высокую антагонистическую активность к широкому спектру фитопатогенных грибов и бактерий. В качестве основных тест-объектов для оценки антагонистической активности исследуемых культур служили штаммы фитопатогенных грибов родов *Fusarium*, *Alternaria*, *Botrytis* и бактерий родов *Xanthomonas*, *Pseudomonas*, *Clavibacter*.

В работе использованы следующие среды:

натуральные: мясо-пептонный бульон, агаризованный мясо-пептонный бульон (плотные и полужидкие питательные среды приготавливали путем добавления к жидким 2,0 или 1,2 % агара микробиологического);

полусинтетические (г/л): 1) бульон Хоттингера – 50,0; глюкоза – 10,0; пептон – 5,0; NaCl – 5,0; агар-агар – 12,0–20,0; вода водопроводная – до 1 л; 2) меласса – 30,0;  $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$  – 7,0;  $KH_2PO_4$  – 3,0;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,1;  $(NH_4)_2SO_4$  – 1,5; Na-цитрат – 0,5; вода дистиллированная – до 1 л.

Штаммы бактерий поддерживали на мясо-пептонном агаре (количество агар-агара – 1,2 %). Фитопатогенные грибы и бактерии поддерживали на агаризованном бульоне Хоттингера, количество агар-агара – 1,2 %.

Глубинное культивирование бактерий-антагонистов осуществляли в колбах Эрленмейера на питательной среде 2 при температуре 28–30 °С, используя шейкер роторного типа (200 об/мин).

Культуры фитопатогенных тест-объектов выращивали в колбах Эрленмейера на среде 1 при температуре 28–30 °С в течение 24 ч (бактерии) и 76 ч (грибы), используя качалку (200 об/мин).

Взаимодействие бактерий-антагонистов с фитопатогенными микроорганизмами исследовали с помощью метода лунок [19]. Результаты антагонистического действия учитывали после 18–24 ч инкубации при температуре 28–30 °С по диаметру зон задержки роста тест-культур. При определении титра клеток и спор бактерий применяли метод предельных разведений [20].

Состав почвогрунта включал смесь нейтрализованных торфов (верхового и переходного) и агроперлит в соотношении 2:1, в который вносили инокулят спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* в количестве 15 мл/л субстрата. Инокулят имел следующие показатели: титр КОЕ –

2,5·10<sup>9</sup>/мл, спор – 1,8·10<sup>9</sup>/мл, антагонистическая активность (по диаметру зон ингибирования роста фитопатогенных тест-объектов *Fusarium oxysporum* и *Pseudomonas syringae*) – 29,0–31,0 и 28,0–30,0 мм соответственно.

В бактеризованные торфосмеси добавляли бентонитовую глину (ГОСТ 28177-89) или глинистое сырье (ГОСТ 9169-75) в соотношении 1 г минерального сырья на 1 л почвогрунта.

Растения выращивали в наполненных субстратом пластиковых лотках. В каждый лоток высевали по 50 семян и помещали в термостат до появления всходов. Затем салат переносили в световые камеры с освещенностью 13–15 тыс. лк и ежедневно осуществляли полив.

Биометрические параметры растений, накопление сырой и сухой биомассы, содержание фотосинтетических пигментов по [21] определяли на 14-е и 28-е сутки вегетации.

Статистическую обработку данных производили общепринятыми методами [22, 23]. Для построения графиков использовали графический редактор для Windows XP. Планки погрешности на гистограмме отражают величину стандартной ошибки средней арифметической.

**Результаты и их обсуждение.** Эффективность действия бактерий-интродуцентов во многом определяется их способностью приживаться в ризосфере культурных растений. В связи с этим в модельных опытах нами изучена приживаемость и динамика развития бактерий-антагонистов *B. subtilis* штаммов М 9/6, 10/19 и 7МР в ризосфере растения и оценено влияние бактеризации на микробную систему «почва–антагонист–патоген».

Результаты исследований свидетельствуют о том, что все изучаемые бактерии характеризуются способностью колонизировать прикорневое пространство. Так, показано, что при инокуляции почвогрунта спорным материалом антагонистов в течение первых 7 сут титр всех исследуемых культур несколько снижается, однако в последующие 14 сут, по мере развития растений, он возрастает и к концу эксперимента составляет (3,3–4,2)·10<sup>8</sup> клеток/г почвы, что на 22–31 % выше, чем количество исходно вносимых бактерий (рис. 1, а).

Несколько иная картина наблюдалась при инокуляции субстрата бактериями-антагонистами без последующей высадки в него растений (рис. 1, б). В течение первой недели инкубации, так же как и в опыте с растениями, наблюдался адаптационный период, во время которого отмечалось снижение титра инокулятов. Затем количество бактерий возрастало, однако не превышало уровня исходной концентрации.

В целом представленные на рис. 1 данные позволяют предположить, что эффективность колонизации прикорневой зоны изучаемыми бактериями-антагонистами зависит от их штаммовой принадлежности и наличия корневых экзометаболитов, что в значительной степени определяет дальнейшую интеграцию микроорганизмов с растением. Сравнительный анализ плотности популяции интродуцированных культур в условиях *in vitro* и *in vivo* показал, что численность этих бактерий длительное время поддерживается на достаточно высоком уровне.

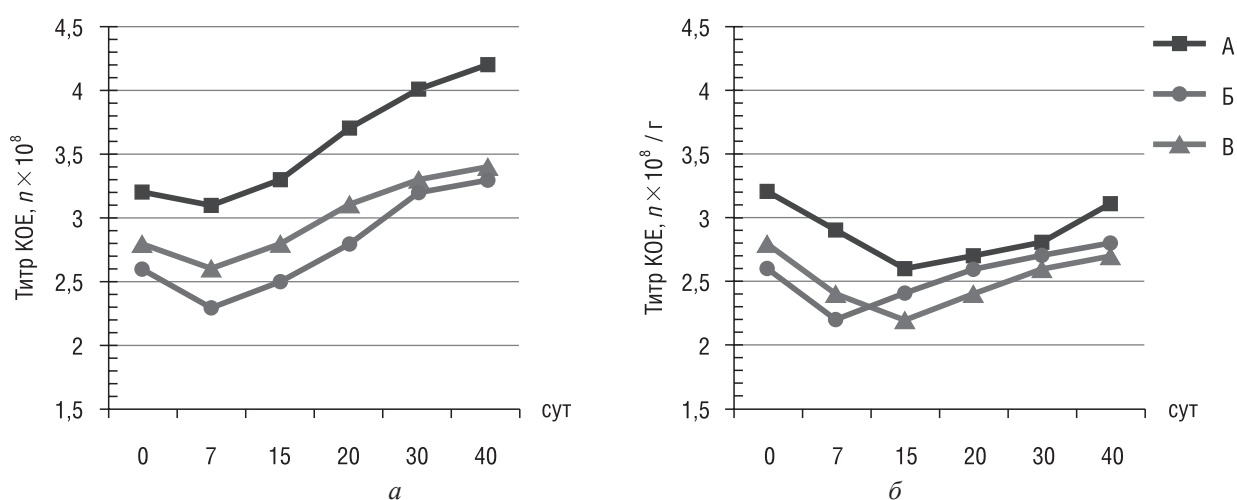


Рис. 1. Динамика численности интродуцируемых бактерий-антагонистов в опытах «почва–растение–антагонист» (а), «почва–антагонист» (б) в стерильных условиях (А – *B. subtilis* М 9/6, Б – *B. subtilis* 10/19, В – *B. subtilis* 7МР)

Изучение влияния *B. subtilis* штаммов М 9/6, 10/19 и 7МР на развитие популяций фитопатогенов показало, что все они обладают способностью ингибировать развитие фитопатогенных тест-объектов в почвенных условиях: в присутствии антагонистов происходит заметное снижение численности фитопатогенных грибов и бактерий. Так, численность фитопатогенного гриба *F. oxysporum* к концу эксперимента (30-е сутки) в зависимости от варианта составляет  $(6,5-6,6) \cdot 10^2$  КОЕ/г почвогрунта, тогда как в контроле достигает уровня  $2,2 \cdot 10^5$  КОЕ/г почвогрунта (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Влияние бактерий *B. subtilis* на динамику численности фитопатогена *Fusarium oxysporum* в почвогрунте

Сроки наблюдения, сутки	Динамика численности гриба <i>F. oxysporum</i> в почвогрунте			
	<i>B. subtilis</i> М 9/6	<i>B. subtilis</i> 10/19	<i>B. subtilis</i> 7МР	Контроль (без антагониста)
0-е	$5,2 \cdot 10^4$	$5,4 \cdot 10^4$	$5,6 \cdot 10^4$	$5,2 \cdot 10^4$
7-е	$1,7 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	$5,7 \cdot 10^4$
15-е	$8,6 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^3$	$6,6 \cdot 10^3$	$8,6 \cdot 10^4$
20-е	$3,6 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^3$	$2,4 \cdot 10^3$	$9,6 \cdot 10^4$
30-е	$6,5 \cdot 10^2$	$6,1 \cdot 10^2$	$6,6 \cdot 10^2$	$2,2 \cdot 10^5$

Титр фитопатогенных бактерий *Ps. syringae* в присутствии антагонистов не превышает  $(3,4-4,1) \cdot 10^4$  КОЕ/г почвы, а в контрольном составляет  $3,6 \cdot 10^7$  клеток/г почвы (табл. 2).

Т а б л и ц а 2. Влияние бактерий *B. subtilis* на динамику численности фитопатогена *Pseudomonas syringae* в почвогрунте

Сроки наблюдения, сутки	Динамика численности бактерий <i>Ps. syringae</i> в почвогрунте			
	<i>B. subtilis</i> М 9/6	<i>B. subtilis</i> 10/19	<i>B. subtilis</i> 7МР	Контроль (без антагониста)
0-е	$3,4 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^6$	$3,9 \cdot 10^6$	$3,7 \cdot 10^6$
7-е	$1,2 \cdot 10^6$	$8,1 \cdot 10^5$	$7,4 \cdot 10^5$	$6,1 \cdot 10^6$
15-е	$7,7 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	$3,4 \cdot 10^5$
20-е	$8,6 \cdot 10^4$	$7,6 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^4$	$6,8 \cdot 10^6$
30-е	$4,1 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^7$

Введение бактерий-антагонистов рода *Bacillus* в почвогрунты продемонстрировало их высокую приживаемость, а также способность оказывать регулирующее воздействие на состав почвенных микробсообществ путем подавления развития патогенных микроорганизмов.

В серии опытов исследовали влияние штаммов бактерий, интродуцированных в торфосмесь, не содержащую минеральных элементов питания, на особенности роста и развития растений салата листового. Анализ данных, полученных на 14-дневных растениях, показал, что все исследуемые бактериальные препараты стимулируют рост и развитие растений, увеличивая длину листьев и практически в 3 раза их биомассу (табл. 3).

Т а б л и ц а 3. Морфометрические показатели растений салата на торфосмеси (ТС), инокулированной биопрепаратами

Вариант опыта	Контроль (ТС)	ТС + <i>B. s.</i> М 9/6	ТС + <i>B. s.</i> 7МР	ТС + <i>B. s.</i> 10/19	НСР <sub>05</sub>
<i>14-е сутки вегетации</i>					
Общая биомасса растения, г	$0,07 \pm 0,007$	$0,21 \pm 0,024^*$	$0,20 \pm 0,019^*$	$0,20 \pm 0,018^*$	0,05
Длина листьев, см	$4,3 \pm 0,21$	$6,0 \pm 0,32^*$	$5,8 \pm 0,25^*$	$6,0 \pm 0,21^*$	0,7
Длина корней, см	$2,6 \pm 0,32$	$4,3 \pm 0,35^*$	$4,2 \pm 0,38^*$	$4,2 \pm 0,2^*$	0,8
<i>28-е сутки вегетации (техническая спелость)</i>					
Биомасса надземной части растения, г	$0,51 \pm 0,03$	$2,38 \pm 0,27^*$	$1,52 \pm 0,19^*$	$1,42 \pm 0,17^*$	0,50
Биомасса корней растения, г	$0,10 \pm 0,008$	$0,20 \pm 0,017^*$	$0,10 \pm 0,013$	$0,08 \pm 0,011$	0,03
Длина листьев, см	$8,4 \pm 0,17$	$14,5 \pm 0,25^*$	$12,6 \pm 0,47^*$	$13,3 \pm 0,70^*$	1,0
Количество полностью развернувшихся листьев на растении	$3,9 \pm 0,04$	$5,0 \pm 0,24$	$4,4 \pm 0,24$	$4,1 \pm 0,26$	

\* Опытный вариант достоверно отличается от контрольного.

Бактерии-антагонисты способствовали активному развитию корневой системы растений: длина корней увеличивалась на 60–66 %, а их биомасса – в 2,6–2,8 раза. При этом индекс побег/корень составлял 1,4 и не отличался от такового в контрольном варианте.

Анализ морфологических параметров растений салата на 28-е сутки вегетации (техническая спелость, хозяйственная годность) показал более выраженное рострегулирующее действие отдельных штаммов бактерий *Bacillus subtilis*. Наиболее сильная ростстимулирующая активность отмечена в варианте с использованием культуральной жидкости бактерий *B. subtilis* М 9/6: длина листьев салата увеличилась на 69,5 %, а их биомасса – в 4,5 раза по сравнению с контролем (торфосмесь без минеральных удобрений).

Известно, что физико-химические характеристики и компонентный состав почвогрунтов оказывают большое влияние на формирование микробного ценоза. Очевидно, что при изменении этих характеристик могут создаваться как благоприятные, так и неблагоприятные условия для активной колонизации ризосферы и приживаемости бактерий и, как следствие, для проявления их эффективности как защитных агентов и стимуляторов роста растений. В ряде работ [24, 25] показана эффективность введения в субстраты тонкодисперсной минеральной компоненты – кембрийской глины или смеси кембрийской глины с сапропелем – для формирования органо-минеральных комплексов, которые создают более благоприятную среду для развития и функционирования корневой системы выращиваемых растений и сопутствующей микрофлоры. Нами исследовано влияние глинистых материалов, внесенных в почвогрунты, на ростстимулирующий эффект наиболее эффективного штамма М 9/6 *Bacillus subtilis*. В бактеризованные торфосмеси добавляли бентонитовую глину (ГОСТ 28177-89) или глинистое сырье (ГОСТ 9169-75). Включение глинистых материалов способствовало более активному росту листьев и увеличению биомассы растений, чем при их выращивании на торфосмеси (контроль) или на бактеризованном почвогрунте. Установлено, что растения, выращиваемые на почвогрунте, включающем глинистые компоненты и бактерии, достоверно превосходят по морфофизиологическим параметрам растения варианта «бактеризованная торфосмесь». Так, добавление бентонита или глины способствует формированию на стадии технической спелости салата с большей массой листьев (на 29,8 и 45,2 % соответственно), чем у растений, выращенных на бактеризованной торфосмеси без глинистого сырья (табл. 4).

Т а б л и ц а 4. Морфофизиологические показатели салата листового, выращенного на торфосмеси (ТС) с добавлением биопрепарата Биоактин и бентонита или глины

Вариант опыта	ТС	ТС + бентонит	ТС + глина	ТС + <i>B. s.</i> М 9/6	ТС + <i>B. s.</i> М 9/6 + бентонит	ТС + <i>B. s.</i> М 9/6 + глина	НСР <sub>05</sub>
<i>2,5-недельные проростки</i>							
Общая биомасса растения, г	0,29 ± 0,01	0,24 ± 0,01	0,24 ± 0,02	0,59 ± 0,06*	0,90 ± 0,10**	0,95 ± 0,09**	0,17
Биомасса розетки листьев, г	0,23 ± 0,01	0,19 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,53 ± 0,04*	0,77 ± 0,09**	0,83 ± 0,08**	0,15
Содержание сухого вещества в листьях, %	6,55 ± 0,11	6,25 ± 0,04	6,39 ± 0,06	4,68 ± 0,10	5,32 ± 0,32	4,68 ± 0,05	
Длина листьев, см	6,9 ± 0,10	6,7 ± 0,7	6,2 ± 0,25	9,2 ± 0,33*	9,0 ± 0,25*	10,1 ± 0,36*	0,7
Длина корней, см	4,9 ± 0,27	5,8 ± 0,27*	4,9 ± 0,17	4,6 ± 0,21	6,8 ± 0,50*	6,1 ± 0,38*	0,9
<i>4-недельные растения (техническая спелость)</i>							
Длина листьев, см	8,2 ± 0,18	8,4 ± 0,19	8,0 ± 0,15	13,9 ± 0,33*	13,9 ± 0,33*	14,9 ± 0,36**	0,7
Сырая биомасса листьев, г	0,51 ± 0,02	0,57 ± 0,02	0,47 ± 0,03	2,30 ± 0,28*	2,99 ± 0,27**	3,34 ± 0,29**	0,49
Сухая биомасса листьев, г	0,04 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,11 ± 0,014*	0,13 ± 0,012*	0,18 ± 0,02**	0,02
Биомасса корней, г	0,05 ± 0,004	0,05 ± 0,004	0,06 ± 0,006	0,10 ± 0,015*	0,10 ± 0,015*	0,15 ± 0,024*	0,03
Количество полностью сформированных листьев на растении, шт.	4,0	4,5 ± 0,15	4,2 ± 0,11	5,9 ± 0,18	6,0	6,0	
Масса предпоследнего развернувшегося листа, г	0,13 ± 0,01	0,15 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,38 ± 0,04*	0,53 ± 0,07**	0,76 ± 0,09**	0,3
Площадь предпоследнего развернувшегося листа, см <sup>2</sup>	9,2 ± 0,3	9,7 ± 0,5	9,0 ± 0,4	21,2 ± 1,64*	21,4 ± 2,3*	21,7 ± 3,1*	4,4

Вариант опыта	ТС	ТС + бентонит	ТС + глина	ТС + <i>B. s.</i> М 9/6	ТС + <i>B. s.</i> М 9/6 + бентонит	ТС + <i>B. s.</i> М 9/6 + глина	НСР <sub>05</sub>
<i>4-недельные растения (техническая спелость)</i>							
Масса последнего развернувшегося листа, г	0,16 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,14 ± 0,01	0,31 ± 0,03*	0,43 ± 0,05*	0,46 ± 0,09*	0,11
Площадь последнего развернувшегося листа, см <sup>2</sup>	10,2 ± 0,33	8,4 ± 0,5	8,4 ± 0,7	15,4 ± 1,4*	19,5 ± 2,24*	17,0 ± 3,18*	4,5
Содержание фотосинтетических пигментов в листьях, мг/г сырой биомассы	0,63 ± 0,019	0,66 ± 0,017	0,76 ± 0,023	0,71 ± 0,032	0,75 ± 0,05	0,62 ± 0,044	
Содержание сухого вещества в листьях, %	8,17 ± 0,76	7,39 ± 0,83	8,67 ± 0,78	4,92 ± 0,15	4,35 ± 0,56	5,45 ± 0,36	

\* Опытный вариант достоверно отличается от контрольного варианта.

\*\* Опытный вариант достоверно отличается от варианта: торфосмесь + *Bacillus subtilis* М 9/6.

Содержание сухого вещества в листьях салата, выращенного на бактериализованных почвогрунтах, было значительно ниже, особенно у 4-недельных растений. Это связано с активным ростом листьев в исследуемых вариантах и, как следствие, с высокой оводненностью быстро растущих тканей. Однако общая сухая биомасса растений в этих вариантах была более чем в 2 раза выше, чем в контроле (табл. 4). Инокуляция почвогрунтов бактериями *Bacillus subtilis* М 9/6 способствовала также активному накоплению фотосинтетических пигментов. Их содержание в листьях салата, рассчитанное на сухую массу, в варианте с бактериализованной торфосмесью на 28-е сутки вегетации было в 2,4 раза больше, чем в контрольном варианте (рис. 2).

Таким образом, установлена высокая ростстимулирующая активность штамма спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* М 9/6 на рост растений салата листового и зависимость активности этих бактерий от компонентного состава почвогрунта. Отмечен положительный эффект введения в состав почвогрунта глинистых материалов.

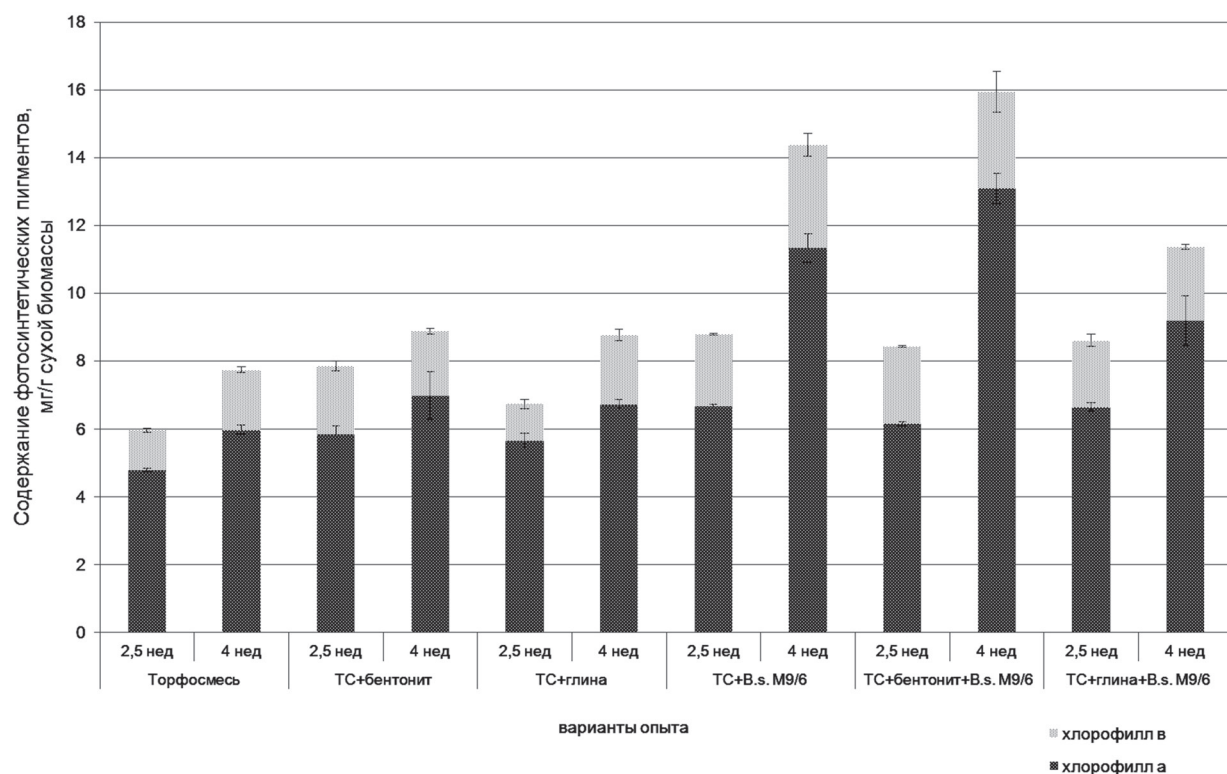


Рис. 2. Содержание фотосинтетических пигментов в листьях салата, формирующихся на бактериализованном почвогрунте с глинистыми компонентами

**Заключение.** Проведенное комплексное исследование бактерий-антагонистов *Bacillus subtilis* штаммов М 9/6, 10/19 и 7МР в условиях *in vitro* и *in vivo* в качестве потенциальных интродуцентов почвогрунтов продемонстрировало их высокую приживаемость в субстратах и ризосфере растений, а также способность оказывать регулирующее действие на состав почвенных микробоценозов путем подавления развития патогенов. Под влиянием бактерий-антагонистов численность фитопатогенного гриба *F. oxysporum* к концу эксперимента (30-е сутки) в зависимости от варианта составляла  $(6,5-6,6) \cdot 10^2$  КОЕ/г почвогрунта, тогда как в контроле достигала уровня  $2,2 \cdot 10^5$  КОЕ/г почвогрунта. Титр фитопатогенных бактерий *Ps. syringae* в присутствии антагонистов не превышал  $(3,4-4,1) \cdot 10^4$  КОЕ/г почвогрунта, а в контрольном составлял  $3,6 \cdot 10^7$  клеток/г почвогрунта.

Анализ морфологических параметров растений салата на 28-е сутки вегетации (в фазе технической спелости) показал наиболее выраженную рострегулирующую активность у штамма спорообразующих бактерий *Bacillus subtilis* М 9/6, при этом длина листьев салата увеличилась на 69,5 %, а биомасса листьев – практически в 4,5 раза по сравнению с контролем (без применения удобрений).

Установлена зависимость активности интродуцированных бактерий от компонентного состава торфосмеси. Добавление бентонита или глины в бактеризованную торфосмесь способствует увеличению продуктивности растений салата на 29,8 и 42,5 % соответственно в сравнении с таковой у растений, выращиваемых на бактеризованной торфосмеси.

### Список использованной литературы

1. Моргун, В. В. Ростстимулирующие ризобактерии и их практическое применение / В. В. Моргун, С. Я. Коць, Е. В. Кириченко // Физиол. и биохим. культур. раст. – 2012. – Т. 41, № 3. – С. 187–207.
2. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам / И. В. Максимов [и др.] // Физиол. раст. – 2015. – Т. 62, № 6. – С. 763–775.
3. Kloepper, J. W. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus spp.* / J. W. Kloepper, C. M. Ryu, S. A. Zhang // Phytopathology. – 2004. – N 94. – P. 1259–1266.
4. Биохимические критерии оценки агрономически значимых свойств бацилл, используемых при создании микробиологических препаратов / В. К. Чеботарь [и др.] // Сельскохозяйств. биол. – 2011. – № 3. – С. 119–122.
5. Maksimov, I. V. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens (review) / I. V. Maksimov, R. R. Abizgildina, L. I. Pusenkova // Appl. Biochem. Microbiol. – 2011. – N 47. – P. 333–345.
6. Lugtenberg, B. Plant-growth-promoting rhizobacteria / B. Lugtenberg, F. Kamilova // Annu. Rev. Microbiol. – 2009. – N 63. – P. 541–555.
7. Communities of P-solubilizing bacteria, fungi and arbuscular mycorrhizal fungi in grasspasture and secondary forest of Paraty / E. L. Souchie [et al.] // An. Acad. Bras. Cienc. – 2006. – Vol. 78, N 1. – P. 183–193.
8. Van Wees, S. C. M. Plant immune responses triggered by beneficial microbes / S. C. M. Van Wees, S. Van der Ent, C. M. J. Pieterse // Curr. Opin. Plant Biol. – 2008. – N 11. – P. 443–448.
9. Кудоярова, Г. П. Образование фитогормонов почвенными и ризосферными бактериями как фактор стимуляции роста растений / Г. П. Кудоярова, И. К. Курдиш, А. И. Мелентьев // Изв. Уфим. науч. центра РАН. – 2011. – № 3. – С. 5–15.
10. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями и факторы эффективности ассоциативных симбиозов / А. И. Шапошников [и др.] // Сельскохозяйств. биол. – 2011. – № 3. – С. 16–22.
11. Conrath, U. Priming of induced plant defense responses / U. Conrath // Advanced in Bot. Res. – 2009. – Vol. 51. – С. 362–384.
12. Фитостимулирующая, антагонистическая активность и биологическая эффективность штамма *Bacillus subtilis* IBM В-7243 / И. В. Драгозов [и др.] // Микробиология и биотехнология. – 2014. – № 4. – С. 77–87.
13. Синтез внеклеточных фитогормонов штаммами *Bacillus*, выделенных из различных природных источников / И. В. Драгозов [и др.] // Микробиол. журн. – 2013. – Т. 75, № 3. – С. 41–46.
14. Мелентьев, А. И. Аэробные спорообразующие бактерии *Bacillus* Cohn в агроэкосистемах / А. И. Мелентьев; Рос. акад. наук, Уфим. науч. центр, Ин-т биологии. – М.: Наука, 2007. – 147 с.
15. Юзефович, Е. К. Патогенность микромицетов, доминирующих на корневой системе зеленных культур, выращиваемых способом проточной гидропонии в Беларуси / Е. К. Юзефович, С. Ф. Буга // Защита растений: сб. науч. тр. / РУП «Институт защиты растений»; гл. ред. Л. И. Трепашко. – Несвиж: Несвиж. укрупн. тип., 2014. – Вып. 38. – С. 143–153.
16. Агротехнологические рекомендации по выращиванию зеленных культур методом гидропонной технологии / материалы подготовили О. В. Антипова, А. А. Сибиряков // Гавриш. – 2003. – № 3. – С. 4–12.
17. Немного о культуре салата [Электронный ресурс] // Теплицы.ру – промышленные теплицы, тепличные технологии. – Режим доступа: [www.greenhouses.ru/kultura-salata](http://www.greenhouses.ru/kultura-salata). – Дата доступа: 15.03.2014.

18. Овощные, салат листовой [Электронный ресурс] / ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». – Режим доступа: [www.sorttest.by/d/306784/d/salat-listovoy.pdf](http://www.sorttest.by/d/306784/d/salat-listovoy.pdf). – Дата доступа: 28.04.2014.
19. Сэги, Й. Методы почвенной микробиологии / Й. Сэги. – М.: Колос, 1983. – 253 с.
20. Звягинцев, Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д. Г. Звягинцев, И. В. Асеева, И. П. Бабьева. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 224 с.
21. Шлык, А. А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев / А. А. Шлык // Биохимические методы в физиологии растений / отв. ред. О. А. Павлинова. – М.: Наука, 1971. – С. 154–170.
22. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий – Минск: Вышэйш. школа, 1973. – 320 с.
23. Тюрин, Ю. Н. Статистический анализ данных на компьютере / Ю. Н. Тюрин, А. А. Макаров. – М.: ИНФА-М. – 1998. – 544 с.
24. Удалова, О. Р. Конструирование корнеобитаемых сред как технологический прием культивирования растений томата в регулируемой агроэкосистеме / О. Р. Удалова, Л. М. Аникина, В. Л. Судаков // Материалы науч. сессии по итогам 2013 года Агрофиз. ин-та. – СПб.: АФИ, 2014. – С. 84–89.
25. Научно-технические основы оптимизации продукционного процесса в регулируемой агроэкосистеме / Г. Г. Панова [и др.] // Агрофизика. – 2011. – № 1. – С. 29–37.

*Поступила в редакцию 29.12.2015*