

Сравнение ростовой активности разных сортов фасоли в условиях засоления при обработке эндофитными бактериями

А. С. Шаяхметова*, А. С. Агеева, И. Ю. Каримова,
Э. А. Ларионова, Г. М. Минлишева

Башкирский государственный университет

Россия, Республика Башкортостан, 450076 г. Уфа, улица Заки Валиди, 32.

*Email: shayakhmetovaas@yandex.ru

В нормальных условиях оба штамма *Bacillus subtilis* 26Д и 10–4 улучшали морфометрические показатели роста растений сорта Золотистая, штамм 26Д снижал рост корней сорта Эльза. При 0.5% NaCl оба штамма ухудшали ростовые параметры растений на обоих сортах, исключением являлась более высокая по сравнению с контролем всхожесть семян сорта Эльза. При 1% NaCl все ростовые показатели инокулированных растений сорта Золотистая были выше, а сорта Эльза – ниже, чем в контроле, что указывает на дифференцированное стрессопротекторное действие бактерий по отношению к определенному сорту растения-хозяина.

Ключевые слова: эндофитные бактерии, *Bacillus subtilis*, фасоль, рост растений, солевой стресс.

Известно, что эндофитные бактерии, образующие мутуалистические симбиотические взаимоотношения с растениями, способны повышать адаптированность растений к стрессовым условиям среды [4]. Широко распространенными эндофитными бактериями являются представители *Bacillus subtilis*. Штамм *B. subtilis* 26Д является основой биопрепарата Фитоспорин, обладающего комплексной биологической активностью. Было показано, что штамм 26Д снижал токсический эффект ионов кадмия и никеля при взаимодействии с растениями пшеницы [3]. Штамм *B. subtilis* 10–4 показал способность повышать стрессоустойчивость в растениях пшеницы в условиях хлоридного засоления [6]. Взаимодействие этих штаммов с растениями фасоли ранее не изучено. Фасоль – перспективная бобовая культура для возделывания в условиях Южного Урала. Она вносит важный вклад в азотный баланс агроценозов и является источником высокобелковой продовольственной продукции. Сорт Эльза испытывался в регионе несколько лет и показал высокую урожайность в условиях достаточного влагообеспечения [5], но значительно снижал продуктивность при дефиците влаги [1–2]. Сорт Золотистая в модельных условиях показал узкий диапазон специфичности к различным испытанным штаммам *Bacillus subtilis* [1]. В связи с этим представляло интерес изучить способность эндофитных бактерий повышать стрессоустойчивость у фасоли. **Цель работы** – оценить энер-

гию прорастания и длину корня и побега растений сорта Эльза и Золотистая в условиях засоления и при взаимодействии с эндофитными бактериями.

Объектом исследования являлись сорта Эльза (в каталоге ВИР значится под номером к-14693) и Золотистая. Семена получены к.б.н., доцентом Гариповой С. Р. путем многолетней адаптивной репродукции в почвах Республики Башкортостан. Штаммы 26Д и 10–4 предоставлены для изучения сотрудниками БНИИСХ. **Методика** постановки опыта включала проращивание семян фасоли на фоне 0.5% и 1% и растворов хлорида натрия без бактериальной обработки и при инокуляции семян водной суспензией бактерий, смытых с агаровых пластин с питательной средой картофельно-глюкозный агар. Заданную плотность бактерий в инокулюме – 10^5 клеток на семя создавали путем визуального сравнения со стандартом мутности и серии последовательных разведений. Контролем служили семена, проращиваемые в воде. В каждом варианте опыта анализировали по 50 семян (по 25 семян в каждой чашке Петри). Семена инкубировали в темноте при 25 °С. Всхожесть оценивали на 3-и и 8-е сутки, длину корня и побега – на 8-е сутки. Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Microsoft Excel, в таблицах представлены средние арифметические и стандартные ошибки при $P=0.95$.

Результаты и их обсуждение. Анализ ростовой активности фасоли сорта Эльза без фактора засоления (табл. 1) показал, что разные штаммы оказывали дифференцированное действие на всхожесть и размеры органов проростков. Штамм 10–4 по сравнению с контролем незначительно влиял на всхожесть семян и длину корня, но привел к двукратному увеличению размеров побега. Количество придаточных корней при этом снизилось по сравнению с контролем. Штамм 26Д задерживал всхожесть семян по сравнению с контролем и оказал негативное воздействие на рост корня и побега. Таким образом, штамм 26Д, оказывающий стимулирующее действие на рост растений пшеницы, не воспроизводил этот эффект на растениях фасоли сорта Эльза.

В условиях действия слабого засоления (0.5% NaCl) всхожесть не обработанных бактериями семян снизилась. Особенно заметно влияние этого фактора на прорастание семян проявилось на 7-е сутки – всхожесть была вдвое ниже, чем в контроле без стрессового фактора. Анализ других ростовых параметров контрольных растений показал, что в 0.5% NaCl длина корня не отличалась от контроля, но значимым было увеличение длины побега на 41%. Возможно, таким образом проявлялась адаптивная реакция растения на угнетение корневой системы, чтобы в дальнейшем сбалансировать ответный эффект по отношению к данному фактору, причины и механизмы которого предстоит выяснить. В этих условиях штамм 10–4 обеспечил всхожесть 88%, то есть такую же, как и в контроле без засоления. Но длина корня проростков в этом варианте опыта была ниже контроля, а длина побега и количество придаточных корней – не значимо

отличались от необработанных бактериями растений в условиях действия 0.5% хлорида натрия. Штамм 26Д обеспечил увеличение всхожести до 75%, что на 53% больше, чем в варианте проращивания растений таком же растворе хлорида натрия, но без бактерий. В соленом растворе всхожесть семян, обработанных штаммом 26Д, была выше, чем в такой же обработке, но водной среде. Возможно, это связано с лучшей выживаемостью клеток бактерий в растворе по осмотическим свойствам, близким к физиологическому раствору. Но несмотря на хорошую всхожесть, ростовые параметры размеров и архитектуры органов проростков были при инокуляции штаммом 26Д значительно ниже контрольных.

Таблица 1. Влияние обработки штаммами *B. subtilis* 26Д и 10–4 на рост растений фасоли сорта Эльза в условиях засоления

Вариант	Всхожесть, %		Длина корня, мм	Длина побега, мм	Количество боковых и придаточных корней
	3-е сутки	8-е сутки			
Контроль	56	89	7.1±0.7	5.1±0.5	9.2±0.9
Контроль+10–4	59	86	7.2±0.7	9.6±1.0	5.1±0.5
Контроль+26Д	53	47	4.0±0.4	6.3±0.6	3.0±0.3
0.5% NaCl	48	49	8.0±0.8	7.2±0.7	5.5±0.6
0.5% NaCl+10–4	50	88	6.3±0.6	8.0±0.8	5.8±0.6
0.5% NaCl+26Д	32	75	2.3±0.2	4.6±0.5	2.6±0.3
1% NaCl	31	87	2.2±0.2	4.4±0.4	2.3±0.2
1%NaCl+10–4	33	39	1.5±0.2	2.3±0.2	0.8±0.1
1% NaCl+26Д	24	71	2.2±0.5	3.4±0.8	3.9±0.9

При более высокой концентрации соли (1% NaCl) всхожесть семян была близкой к контролю, но ростовые параметры ухудшились более чем в 3 раза по длине корня и количеству боковых и придаточных корней. Влияние бактерий в этих условиях изменилось: штамм 10–4 в этих условиях угнетал рост растений, а штамм 26Д сохранял ростовые характеристики на уровне варианта в солевом растворе без бактериальной обработки, по архитектуре корня улучшал степень разветвленности корневой системы.

При анализе ростовых качеств фасоли сорта Золотистая было выявлено, что при выращивании в воде оба штамма улучшали рост побега на 23% по сравнению с контролем, штамм 10–4 тормозил рост корней (табл. 2).

Таблица 2. Влияние обработок фасоли сорта Золотистая штаммами *B. subtilis* на рост растений в условиях засоления

Вариант обработки и фон	Всхожесть, %		Длина корня, мм	Длина побега, мм	Количество боковых и придаточных корней, штук
	3-и сутки	8-е сутки			
Контроль (вода)	87	39	2.26±0.10	0.60±0.03	10.38±0.23
10-4	85	54	1.82±0.29	0.75±0.02	8.67±0.24
26D	87	80	2.13±0.01	0.74±0.05	9.17±0.27
0.5%NaCl	95	66	2.38±0.02	0.99±0.03	12.53±0.16
NaCl 0.5%+10-4	65	30	1.41±0.005	0.60±0.04	6.3±0.13
NaCl 0.5%+26D	69	34	2.04±0.05	0.73±0.02	9.38±0.2
NaCl 1%	6	0	0	0	0
NaCl 1%+10-4	65	15	0.80±0.05	0.35±0.02	3.34±0.25
NaCl 1%+26D	49	14	0.84±0.04	0.15±0.006	2.76±0.04

В условиях слабого солевого стресса (0.5% NaCl) ростовые показатели обработанных штаммами 26Д и 10-4 растений были хуже контрольных на 36 и 40% по длине побега на 16 и 40% по длине корня. Но в условиях более высокой концентрации соли (1%) контрольные растения не проросли из-за развития грибной инфекции, а обработанные штаммами 26Д и 10-4 проростки дали всхожесть 49 и 65%, причем длина побега растений, обработанных штаммом 10-4, в 2.3 раза превосходила эти же показатели растений, обработанных штаммом 26Д, по количеству придаточных корней различия между новым и эталонным штаммом составили 21% в пользу первого.

Таким образом, бактерии при солевом стрессе в концентрации NaCl 0.5% подавляли рост растений фасоли сорта Золотистая. При сравнении штаммов *Bacillus subtilis* 26Д и 10-4 в солевых растворах в концентрации NaCl 1% было выявлено, что штамм 10-4 оказывает положительное действие, а 26Д подавляет рост. Механизмы положительного и отрицательного действия указанных штаммов на рост растений выясняются в настоящее время.

Сравнение двух сортов показало, что всхожесть семян фасоли сорта Золотистая на 3-и сутки была выше, чем у сорта Эльза. На 8-е сутки всхожесть сорта Эльза превышала в несколько раз. Длина корней в варианте с сортом Эльза была выше в 3 раза, чем у сорта Золотистая. Было выявлено торможение роста корней у сорта Золотистая при обработке штаммом 10-4. Длина побега у растений сорта Эльза так же отличалась, была выше в 10-11 раз, а количество придаточных корней была ниже.

Анализируя результаты проведенного эксперимента, можно отметить, что штамм 10–4, как и ранее при взаимодействии с растениями пшеницы, оказал положительное влияние на рост растений обоих сортов фасоли в условиях отсутствия стрессового фактора и при слабом засолении. Реакция растений на инокуляцию штаммом 26Д зависела как от генотипа растения фасоли, так и от степени проявления стрессового фактора.

Литература

1. Гарипова С. Р., Маркова О. В., Самигуллин С. Н. Продуктивность и клубенькообразующая способность у сортов фасоли в условиях Южного Предуралья // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. №1. С. 55–62.
2. Кротова Д. В., Гарипова С. Р. Продуктивность разных сортов фасоли в зависимости от сроков посева // XXIX Любимцевские чтения. Современные проблемы эволюции и экологии. Сборник материалов международной конференции. ФГБОУ ВПО "УлГПУ им. И. Н. Ульянова". Ульяновск, 2015. С. 361–362.
3. Курамшина З. М., Смирнова Ю. В., Хайруллин Р. М. Влияние эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* на окислительный стресс растений, вызванный тяжелыми металлами // Молекулярные аспекты редокс-метаболизма растений. Роль активных форм кислорода в жизни растений. Материалы II Международного симпозиума и международной научной школы. Ред. И. В. Максимов и др. Уфа, 2017. С. 147–150.
4. Максимов И. В., Веселова С. В., Нужная Т. В., Сарварова Е. Р., Хайруллин Р. М. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам // Физиология растений. 2015. Т. 62. №6. С. 763–775.
5. Маркова О. В., Гарипова С. Р. Отбор перспективных линий фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) сорта Эльза и особенности их симбиотрофного питания в разных почвенно-климатических условиях Предуралья // Вестник Башкирского университета. 2013. Т. 18. №3. С. 709–712.
6. Lastochkina O., Pusenkova L., Yuldashev R., Babaev M., Garipova S., Blagova D., Khairullin R., Aliniaiefard S. Effects of *Bacillus subtilis* on some physiological and biochemical parameters of *Triticum aestivum* L. (wheat) under salinity // Plant Physiology and Biochemistry. 2017. Т. 121. С. 80–88.

Comparison of the growth activity of different bean varieties under salinity treated with endophytic bacteria

A. S. Shayakhmetova*, A. S. Ageeva, I. Yu. Karimova,
E. A. Larionova, G. M. Minlisheva

Bashkir State University

32 Zaki Validi Street, 450074 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.

**Email: shayakhmetovaas@yandex.ru*

Under normal conditions, both strains of *Bacillus subtilis* 26D and 10–4 improved the growth of the Zolotistaya variety, strain 26D inhibited the growth of the roots of the Elsa variety. At 0.5% salinity, both strains inhibited the growth of the Zolotistaya variety, as well as the Elsa variety, with the exception of higher seed germination. At 1% salinity, all growth characteristics of plants were higher than in the control at the inoculation of Zolotistaya variety, and lower than in the control at the inoculation of Elsa variety. These data indicating a differentiated stressor protective effect of endophytic bacteria in relation to a certain plant host variety.

Keywords: endophytic bacteria, *Bacillus subtilis*, salt stress, bean varieties.