

Влияние генно-инженерного усиления антиоксидантной защиты табака на комплекс стрептомицетов в ризосфере растений-трансформантов

И. Г. ШИРОКИХ^{1,2}, Я. И. НАЗАРОВА¹, А. А. ШИРОКИХ¹, С. Ю. ОГОРОДНИКОВА²,
Е. В. ТОВСТИК¹, Е. Н. БАРАНОВА³

¹ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока
им. Н. В. Рудницкого
610007, Киров, ул. Ленина, 166а
E-mail: irgenal@mail.ru

² Лаборатория биомониторинга Института биологии
Коми НЦ УрО РАН и ВятГГУ
610002, Киров, ул. Красноармейская, 26

³ Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной биотехнологии
127550, Москва, ул. Тимирязевская, 42

Статья поступила 24.02.2015

Принята к печати 18.08.2015

АННОТАЦИЯ

В работе использовали растения табака (*Nicotiana tabacum* L.) с геном Fe-супероксиддисмутазы (*Fe-SOD1*) из *Arabidopsis thaliana* L., придающим устойчивость к повреждающему действию окислительного стресса. Сравнивали численность и структуру комплексов актиномицетов рода *Streptomyces* в ризосфере и ризоплане исходного сорта Самсун и независимых трансгенных линий Ttrf3 и Ttrf13. Растения наблюдали в условиях искусственного климата на торфяно-перегнойной почвенной смеси (контроль) и на естественной кислой дерново-подзолистой почве с алюминием (стресс). Полученные данные свидетельствуют о значимом влиянии встройки в геном табака гетерологичной последовательности на численность, видовую представленность и функциональную активность стрептомицетов в ризосфере растений-трансформантов.

Ключевые слова: почва, стрептомицеты, структура комплекса, ризосфера, табак, растение-трансформант, Fe-содержащая супероксиддисмутаза (*Fe-SOD1*), окислительный стресс.

Важной задачей аграрного производства является повышение продуктивности и устойчивости растений к стрессам без причинения ущерба окружающей среде. Успехи в исследовании механизмов молекулярного контроля над устойчивостью растений к неблагоприятным факторам среды показали, что одним из условий увеличения устойчивости

является эффективное функционирование антиоксидантных систем [Тарчевский, 2001; Шакирова, 2001]. Это послужило толчком к развитию генной инженерии антиоксидантов, ориентированной на создание устойчивых к стрессам форм путем введения в геном растения генов, связанных с ответом на окислительный стресс. К числу ключевых компонентов системы защиты клеток и тканей от окислительной деструкции относится антиоксидантный фермент супероксиддисмутаза (СОД, КФ 1.15.1.1) [Бараненко, 2006]. СОД катализирует реакцию дисмутации супероксидных анион-радикалов до молекулярного кислорода и пероксида водорода. Генетически модифицированные культуры с суперэкспрессией этого гена – табак [Van Camp et al., 1996], кукуруза [Van Breusegem et al., 1999], арабидопсис [Gao et al., 2003], рис [Bhoomika et al., 2013], райграс [Cartes et al., 2012], томат [Серенко и др., 2011; Баранова и др., 2011] – проявляли повышенную устойчивость к воздействию самых разнообразных стрессовых факторов.

Наряду с формированием новых хозяйственно ценных свойств генно-инженерное вмешательство создает для растений вероятность приобретения новых качеств, обусловленных плейотропным действием нового белка или свойствами самой встроенной конструкции, в том числе ее нестабильностью и регуляторным действием на соседние гены [Shravat, Lörz, 2006; Проблемы..., 2012]. Плейотропные эффекты из-за нарушений в эндогенных путях первичного метаболизма могут повлечь изменения в корневой экскреции трансгенных растений и, как следствие, изменения микробного комплекса ризосферы. В связи с увеличением во всем мире площадей, занятых генетически модифицированными сельскохозяйственными культурами необходима оценка экологических рисков их возможного воздействия на окружающую среду, в частности на устойчивость почвенной микробной системы.

К настоящему времени уже имеются работы, посвященные оценке состояния микробных сообществ почвы, на которой выращивались генетически модифицированные растения [Lottmann et al., 2000; Dunfield, Germida, 2001; Nielsen et al., 2001; Kay et al., 2002; Motavalli et al., 2004; Locke et al., 2008;

Wagner et al., 2008]. Полученные разными авторами результаты противоречивы: свидетельствуют как об отсутствии видимого эффекта, так и о его наличии. Как правило, эти работы выполнены с использованием генно-молекулярных методов, основанных на нуклеотидном полиморфизме в участках генов (например, 16S рРНК), и охватывают только ограниченную часть почвенного бактериального населения. Значительная доля сообщества ризосферы, представленная микелиальными прокариотами – актиномицетами, а также их функциональная активность остаются вне сферы внимания исследователей. Между тем актиномицеты выполняют в почве ряд экологических функций: участвуют в разложении органических остатков, определяют такие практически значимые аспекты взаимодействия с растением-хозяином, как патогенез и антибиозис, благодаря способности продуцировать фитогормоны, антибиотики и другие физиологически активные соединения [Horwood, 2007].

Оценка различий между комплексами почвенных микроорганизмов, колонизирующих корни исходных и подвергнутых генетической трансформации растений, представляет собой первый шаг к выяснению того, приводит ли присутствие генетически модифицированных источников (ГМИ) к изменениям в окружающей среде.

Цель настоящей работы – изучить влияние растений-трансформантов по гену *Fe-SOD1* на комплекс актиномицетов рода *Streptomyces* в прикорневой зоне табака, выращенного в обычных условиях и в условиях стресса, обусловленного почвенной кислотностью и токсичностью алюминия.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе использовали табак обыкновенный (*Nicotiana tabacum* L.) сорта Самсун и полученные путем агробактериальной трансформации независимые трансгенные линии с геном, кодирующим цитоплазматическую Fe-содержащую супероксиддисмутазу (*Fe-SOD1*) из *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh, который придает устойчивость к повреждающему действию окислительного стресса.

Клональное микроразмножение пробирочных растений исходного сорта и линий Ttrf13

и Ttrf3, трансгенность которых была доказана с использованием селективной среды с канамицином и методом полимеразной цепной реакции [Нодельман, 2014], проводили на среде МС [Murashige, Skoog, 1962]. Пробиорные растения после образования развитой корневой системы высаживали в вегетационные сосуды с почвой (2 растения на сосуд, 2 сосуда в каждом варианте) и выращивали в условиях искусственного климата при освещенности 4000 клк, фотопериоде 16 ч, температуре 25/18 °С день/ночь. Для создания эдафического стресса, обусловленного токсичностью алюминия в кислых почвах, использовали природную дерново-подзолистую почву с $\text{pH}_{\text{сол.}}$ 3,6 и содержанием подвижного алюминия 12,8 мг/100 г. Контролем служили растения в сосудах, заполненных торфяно-перегнойной смесью с pH 6,0 без алюминия.

Для проверки функциональной активности встроенного гена определяли суммарную активность СОД методом, основанным на способности фермента ингибировать фотохимическое восстановление п-нитротетразолиевого синего [Beauchamp, Fridovich, 1971]. Смешанные пробы листьев у табака исходного сорта Самсун и независимых линий Ttrf13 и Ttrf3 отбирали по фазам развития: укоренение рассады, формирование растений и цветение.

Численность и состав актиномицетов в прикорневой почве табака определяли в образцах, отобранных в фазу цветения. Из каждого образца брали по две навески (2 г) корней с прилипшей к ним почвой, отмывали в колбах со 100 мл стерильной воды (считали это ризосферой). Корни после отмывания растирали в ступке и переносили в другую колбу со 100 мл стерильной воды (считали это ризопланой). Актиномицеты учитывали и выделяли на казеин-глицериновом агаре. Дифференцированно учитывали колонии по морфологическим типам. Доминирующие на чашках колонии выделяли в чистую культуру для идентификации. Для исследования таксономической принадлежности актиномицетов рода *Streptomyces* использовали определитель [Гаузе и др., 1983]. Дополнительно изучали антагонистические [Егоров, 1979] и целлюлозолитические [Teather, Wood, 1982]

свойства выделенных культур. Характеризуя структуру комплексов микроорганизмов, ассоциированных с корнями, использовали индекс обилия (долевое участие таксона в комплексе, %), показатели частоты встречаемости в комплексах стрептомицетов видов-антагонистов и видов с различной целлюлозолитической активностью.

Статистическую обработку результатов проводили стандартными методами [Лакин, 1990] с использованием пакета программ EXCEL и STATGRAFICS.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ в листьях табака линий Ttrf13 и Ttrf3 функциональной активности встроенного гена *Fe-SOD1* выявил, что в обычных условиях у трансформантов показатели суммарной активности СОД достоверно выше, чем в листьях исходного сорта Самсун, что может говорить о суперэкспрессии встроенного гена антиоксидантного фермента *Fe-SOD1* и о более высоком уровне антиоксидантной защиты у трансгенных линий табака. Различия с контролем по активности СОД, несущественные у трансформированных растений в фазу укоренения рассады, усиливались в процессе онтогенеза растений (рис. 1).

На фоне окислительного стресса, обусловленного токсичностью алюминия в кислой почве, преимущество перед исходным сортом проявила только линия Ttrf13, тогда как у трансформантов линии Ttrf3 суммарная активность СОД в листьях значительно уступала показателям сорта Самсун на протяжении всего периода наблюдений, за исключением фазы укоренения рассады. Это указывает на отсутствие в листьях трансформантов Ttrf3 стабильной экспрессии и функциональной активности встроенного гена *Fe-SOD1*.

Проблема достижения эффективной работы белков в растениях, получивших чужеродную вставку, часто возникает из-за неустойчивой, низкой экспрессии гетерологичного гена. К числу факторов, влияющих на уровень его экспрессии, относят место встраивания транслоцируемого участка ДНК, число и целостность идентичных копий гена, запуск РНК-сайленсинга. Ненадлежащее функционирование встроенного гена может

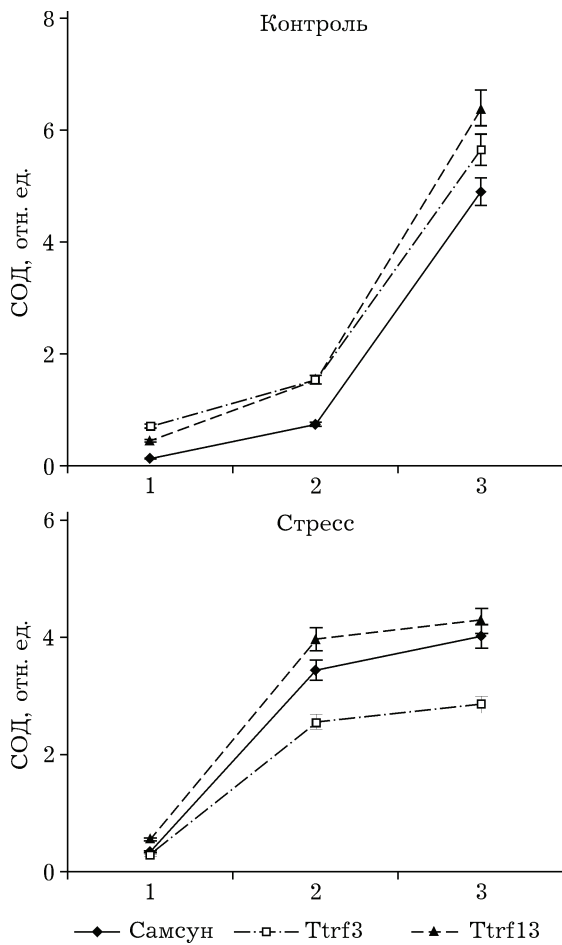


Рис. 1. Динамика активности СОД в листьях табака в зависимости от условий выращивания по фазам: укоренение рассады (1), формирование растений (2), цветение (3)

быть связано также с эпигенетическими причинами [Лутова, 2010]. Каждое из этих обстоятельств может стать не только причиной неудачи генно-инженерного вмешательства, но и повлечь за собой определенные экологические риски, в частности – для почвенной микробной системы.

Сравнительное исследование численности и видовой структуры рода *Streptomyces* в прикорневой почве растений табака проводили с выделением микроклонов ризосферы и ризопланы. В ризосфере численность стрептомицетов как наиболее представительного в почвах таксона мицелиальных прокариот изменялась несущественно – в пределах от $2,7 \times 10^5$ до $6,5 \times 10^5$ КОЕ/г в зависимости от генотипа и почвенного фона. В ризоплане имели место уже существенные различия в чис-

ленности стрептомицетов между исходным сортом ($1,1-1,8 \times 10^6$ КОЕ/г) и трансгенными линиями табака Ttrf13 ($3,7 \times 10^5$ КОЕ/г) в обычных условиях и Ttrf3 ($5,9 \times 10^5$ КОЕ/г) на кислом фоне с алюминием.

Исходный сорт и трансгенные линии табака различались по видовой представленности стрептомицетов в ризосфере (см. таблицу). Так, по результатам многофакторного дисперсионного анализа существенно зависело от генотипа табака варьирование численности ассоциированных с корнями представителей секций и серий *Cinereus Achromogenes* ($p = 0,003$) и *Cinereus Chromogenes* ($p = 0,007$). В ризосферном комплексе исходного сорта Самсун преобладали неокрашенные виды серии *Cinereus Achromogenes* (20,3 %) и секции *Albus* (76,7 %), что характерно для зональных дерново-подзолистых почв.

Соотношение неокрашенных и окрашенных видов в пользу последних изменялось при стрессе, обусловленном кислотностью почвы и алюминием. В ризосферном комплексе Ttrf13, напротив, даже в обычных условиях доля участия видов серии *Cinereus Chromogenes* оказалась выше (80,5 %), чем серии *Cinereus Achromogenes* (8,2 %), а при выращивании растений на кислом фоне она еще увеличивалась (до 86,3 %).

В ризоплане стрептомицетные комплексы сравниваемых генотипов растений характеризовались более равномерной представленностью в разрезе цветковых секций и серий. Однако доминировали по доле участия в комплексах исходного сорта (*Cinereus Chromogenes*, *Cinereus Achromogenes*) и трансгенных линий Ttrf3 (*Cinereus Achromogenes*) и Ttrf13 (*Cinereus Aureus*) представители различных секций и серий. Так, в ризоплане исходного сорта с наибольшей частотой встречались виды *S. flavogriseus*, *S. acrimycini* и *S. helveticus*; в ризоплане линии Ttrf3 – *S. paraguayensis*, а в ризоплане Ttrf13 – *S. griseoalbus*, *S. candidus*, *S. nadosus*, *S. varsoviensis*, *S. misakiensis*.

Наряду с количественными и таксономическими различиями в ризосферных комплексах сорта Самсун и трансгенных линий табака отмечены различия в функциональной структуре мицелиальных прокариот. Известно, что среди стрептомицетов широко рас-

Относительное обилие (%) видов секций и серий рода *Streptomyces* в прикорневой зоне в зависимости от генотипа табака

Секция и серия	Нейтральный почвенный фон (контроль)			Кислый почвенный фон с алюминием (стресс)		
	Самсун	Ttrf3	Ttrf13	Самсун	Ttrf3	Ttrf3
Ризосфера						
<i>Cinereus Chromogenes</i>	3	28	80,5	66,7	52,9	86,3
<i>Cinereus Achromogenes</i>	20,3	62,7	8,2	21	21,2	11,5
<i>Cinereus Aureus</i>	0	0	5,7	10,1	21,2	0,4
<i>Cinereus Violaceus</i>	0	0	0,6	2,2	3,8	1,8
<i>Imperfectus</i>	0	0	5	0	0,9	0
<i>Albus</i>	76,7	9,3	0	0	0	0
Ризоплана						
<i>Cinereus Chromogenes</i>	33,3	25,7	50	38,7	27,5	25,8
<i>Cinereus Achromogenes</i>	36,7	22,9	0	12,9	35,9	9,7
<i>Cinereus Aureus</i>	26,7	51,4	25	19,4	9,1	64,5
<i>Cinereus Violaceus</i>	0	0	25	0	27,5	0
<i>Imperfectus</i>	3,3	0	0	29	0	0

пространена способность к синтезу антибиотиков, благодаря чему эти организмы принято рассматривать в роли регуляторов микробных сообществ почвы, включая микролокусы ризосферы и ризопланы. В комплексе стрептомицетов, ассоциированных с корнями исходного сорта, присутствовали виды – антагонисты фитопатогенных грибов рода *Fusarium* и антагонисты грамположительной и грамотрицательной тест-бактерий. В тех же условиях выращивания ризосферный комплекс трансгенной линии Ttrf3 отличался от исходного сорта более низкой частотой встречаемости на корнях антагонистов гриба *F. avenaceum* и отсутствием в комплексе антагонистов грамположительной бактерии *A. simplex*. Среди стрептомицетов, ассоциированных с корнями другой трансгенной линии Ttrf13, также отмечены изменения антагонистической активности, которые выразились, с одной стороны, возрастанием частоты встречаемости видов, антагонистически активных в отношении бактерий, а с другой, снижением встречаемости в комплексе представителей с антифунгальной активностью (рис. 2).

Наряду с изменениями в антагонистической активности, стрептомицетные комплексы трансформированных растений отличались от комплекса сорта Самсун изменением частоты встречаемости видов, способных актив-

но разлагать целлюлозу. В ходе лабораторного тестирования природных изолятов на среде с добавлением карбометилцеллюлозы в качестве единственного источника углерода штаммы в зависимости от величины зон разрушения полимера разделялись на груп-

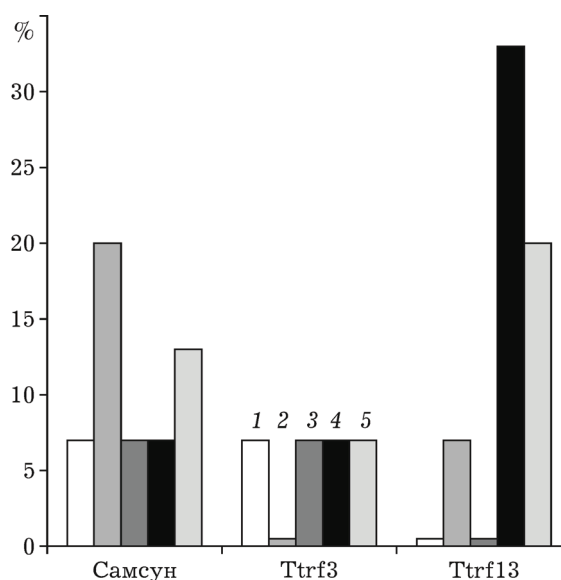


Рис. 2. Частота встречаемости (%) в ризосфере табака стрептомицетов-антагонистов в отношении тест-культур фитопатогенных грибов. *Fusarium culmorum* Т-8 (1), *F. avenaceum* 7/2 (2), *F. oxysporum* 4-1 (3) и бактерий *Erwinia herbicola* (4), *Arthrobacter simplex* (5)

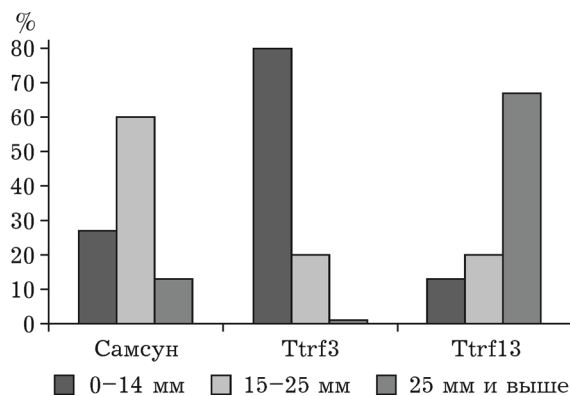


Рис. 3. Частота встречаемости (%) в ризосфере табака стрептомицетов с различной целлюлозолитической активностью (пояснения в тексте)

пы со слабой (тест-зона разложения целлюлозы не более 14 мм), умеренной (тест-зона изменяется от 15 до 25 мм) и сильной (тест-зона не менее 25 мм) целлюлозолитической активностью. Частоты встречаемости видов каждой выделенной группы в ризосфере исходного сорта Самсун и линий трансформантов различались (рис. 3). Так, линия Ttrf3 характеризовалась снижением, а линия Ttrf13, напротив, повышением встречаемости культур стрептомицетов с высокой целлюлозолитической активностью в сравнении с исходным сортом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных данных показал значимое влияние встройки в геном табака гетерологичной последовательности, независимо от уровня ее функциональной активности и стабильности экспрессии, на численность и видовую представленность мицелиальных прокариот в ризосфере растений-трансформантов. Определение в ризосферном комплексе частоты встречаемости представителей с антагонистической способностью и целлюлозолитической активностью выявило различия в функциональной структуре комплексов актиномицетов, ассоциированных с корнями генотипически различных растений табака. Результаты проведенного исследования позволяют утверждать, что использование ГМИ может приводить к изменениям в окружающей среде, заключающимся в изменении качественного состава почвенных мик-

роорганизмов, участвующих в защите растений от фитопатогенов, и в процессах биодеградации растительных полимеров, в частности целлюлозы.

ЛИТЕРАТУРА

- Бараненко В. В. Супероксиддисмутаза в клетках растений // Цитология. 2006. Т. 48, № 6. С. 465–474.
- Баранова Е. Н., Гулевич А. А., Майсурян А. Н., Лаврова Н. В. Ультраструктурная организация клеток трансгенных растений томата с геном Fe-SOD при засолении питательной среды // Изв. ТСХА. 2011. № 1. С. 90–96.
- Гаузе Г. Ф., Преображенская Т. П., Свешникова М. А., Терехова Л. П., Максимова Т. С. Определитель актиномицетов. Роды *Streptomyces*, *Streptoverticillium*, *Chainia*. М.: Наука, 1983. 248 с.
- Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. М.: Высш. шк., 1979. 485 с.
- Лакин Г. Ф. Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
- Лутова Л. А. Биотехнология высших растений. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2010. 238 с.
- Нодельман Е. К. Применение гена Fe-зависимой супероксиддисмутазы для защиты хлоропластов томатов и табака от окислительного стресса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2014. 29 с.
- Проблемы агробиотехнологии / под ред. П. Н. Харченко. М.: ВНИИСХБ, 2012. 260 с.
- Серенко Е. К., Овчинникова В. Н., Куренина Л. В., Баранова Е. Н., Гулевич А. А., Майсурян А. Н., Харченко П. Н. Получение трансгенных растений томата с геном Fe-зависимой супероксиддисмутазы // Докл. РАСХН. Т. 4. Р. 12–14.
- Тарчевский И. А. Метаболизм растений при стрессе. Избранные труды / под ред. А. Н. Гречкина. Казань: Фэн, 2001. 448 с.
- Шакирова Ф. М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. Уфа: Гилем, 2001. 160 с.
- Beauchamp C., Fridovich J. Superoxide Dismutase: Improved Assays and an Assay Applicable to Acrylamide Gels // Anal. Biochem. 1971. Vol. 44. P. 276–287.
- Bhoomika K., Pyngrope S., Dubey R. S. Differential responses of antioxidant enzymes to aluminum toxicity in two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with marked presence and elevated activity of Fe SOD and enhanced activities of Mn-SOD and catalase in aluminum tolerant cultivar // Plant Growth Regulation. 2013. Vol. 71. P. 235–252.
- Cartes P., McManus M., Wulff-Zottele C., Leung S., Gutiérrez-Moraga A., Mora M. L. Differential superoxide dismutase expression in ryegrass cultivars in response to short term aluminium stress // Plant Soil. 2012. Vol. 350, N 1–2. P. 353–363.
- Dunfield K. E., Germida J. Diversity of bacterial communities in the rhizosphere and root interior of field-grown genetically modified *Brassica napus* // FEMS Microbiol. Ecol. 2001. Vol. 38. P. 1–9.
- Gao X., Ren Z., Zhao Y., Zhang H. Overexpression of SOD increases salt tolerance of Arabidopsis // Plant Physiol. 2003. Vol. 133. P. 1873–1881.

- Hopwood D. A. *Streptomyces* in Nature and Medicine: The Antibiotic Makers. N.Y.: Oxford University Press Inc., 2007. 250 p.
- Kay E., Vogel T., Bertolla F., Simonet P. *In situ* transfer of antibiotic resistance genes from transgenic (transplastomic) tobacco plants to bacteria // *Appl. Environ. Microbiol.* 2002. Vol. 68. P. 3345–3351.
- Locke M. A., Zablotowicz R. M., Reddy K. N. Integrating soil conservation practices and glyphosate-resist ant crops: impacts on soil // *Pest Management Sci.* 2008. Vol. 64. 457–469.
- Lottmann J., Heuer H., Vries J., Mahn A., Düring K., Wackernagel W., Smalla K., Berg G. Establishment of introduced antagonistic bacteria in the rhizosphere of transgenic potatoes and their effect on the bacterial community // *FEMS Microbiol. Ecol.* 2000. Vol. 33. P. 41–49.
- Motavalli P. P., Kremer R. J., Fang M., Means N. E. Impact of genetically modified crops and their management on soil microbially mediated plant nutrient transformations // *J. Environ. Qualily.* 2004. Vol. 33. P. 816–824.
- Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue culture // *Physiol. Plant.* 1962. Vol. 15. P. 473–497.
- Nielsen K. M., van Elsas J. D., Smalla K. Dynamics, horizontal transfer and selection of novel DNA in bacterial populations in the phytosphere of transgenic plants // *Ann. Microbiol.* 2001. V. 51. P. 79–94.
- Shravat A. K., Lörz H. Agrobacterium-mediated transformation of cereals: a promising approach crossing barriers // *Plant Biotechnol. Journ.* 2006. Vol. 4. P. 575–603.
- Teather R. M., Wood P. J. Use of congo-red polysaccharide interaction in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria the bovine rumen // *Appl. Environ. Microbiol.* 1982. Vol. 43. P. 777–780.
- Van Breusegem F., Slooten L., Stassart J., Moens T., Botterman J., Van Montagu M., Inze D. Overproduction of Arabidopsisthaliana *Fe-SOD* confers oxidative stress tolerance to transgenic maize // *Plant Cell Physiol.* 1999. Vol. 40. P. 515–523.
- Van Camp W., Capiou K., Van Montagu M., Inze D., Slooten L. Enhancement of oxidative stress tolerance in transgenic tobacco plants overexpressing Fe-superoxide dismutase in chloroplasts// *Plant Physiol.* 1996. Vol. 112. P. 1703–1714.
- Wagner T., Arango Isaza L. M., Grundmann S., Dörfler U., Schroll R., Schloter M., Hartmann A., Sander-mann H., Ernst D. The probability of a horizontal gene transfer from Roundup Readysoybean to root symbiotic bacteria: a risk assessment study on the GSF lysimeter station // *Water, Air, Soil Pollution.* 2008. F. 8. P. 155–162.

Impact of Genetic Modification of the Antioxidant Defense of Tobacco Plants on the Streptomycetes Complex in the Rhizosphere

I. G. SHIROKIKH^{1,2}, Ya. I. NAZAROVA¹, A. A. SHIROKIKH¹, S. Yu. OGORODNIKOVA², E. V. TOVSTIK¹, E. N. BARANOVA³

¹ N. V. Rudnitski Zonal Research Institute for Agriculture of the North-East
610007, Kirov, Lenina str., 166a
E-mail: irgenal@mail.ru

² Vyatka State University of Humanities
610002, Kirov, Krasnoarmeyskaya str., 26

³ All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology
127550, Moscow, Timiryazevskaya str., 42

Tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.) modified with the gene of Fe superoxide dismutase (*Fe-SOD1*) from Arabidopsis thaliana L. were studied. The gene of *Fe-SOD1* conferred resistance to the plants against the damaging effects of oxidative stress. The number and structure of complexes of actinomycetes of the genus *Streptomyces* in the rhizosphere and rhizoplane of the original cultivar “Samsun” and independent transgenic lines Ttrf3 and Ttrf13 were estimated. The plants were grown under optimal conditions (control) and on acid sod-podzolic soil with aluminum (stress). The impact of incorporation of the heterologous sequence in the genome of tobacco plants on the abundance, species diversity and functional activity of streptomycetes in the rhizosphere of the plants was detected.

Key words: soil, streptomycetes, structure of the complex, rhizosphere, tobacco, transformant plant, Fe superoxide dismutase (*Fe-SOD1*), oxidative stress.