

Научная статья

УДК 633.853.52:631.52:631.847.211:631.521(571.61)

DOI: 10.37102/0869-7698_2023_229_03_11

EDN: LRFLRE

Оценка чувствительности к антибиотикам штаммов ризобий, выделенных из почв Дальнего Востока, и испытание их эффективности на сортах сои амурской селекции

А.И. Сорокина[✉], М.В. Якименко, И.Ю. Татаренко

Арина Игоревна Сорокина

кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Амурская область, Россия

aziradot@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4611-767x>

Мария Владимировна Якименко

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Амурская область, Россия

aziradot@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1141-1900>

Игорь Юрьевич Татаренко

кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, Благовещенск, Амурская область, Россия

aziradot@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0098-3484>

Аннотация. Проведена оценка устойчивости к антибактериальным препаратам (АБП) штаммов видов *Bradyrhizobium japonicum* (Jordan, 1982), *B. elkanii* (Kuykendall et al., 1992) и *Sinorhizobium fredii* (Scholla, Elkan, 1984) из коллекции ФБГНУ ВНИИ сои, испытана их эффективность на сортах сои Гармония, МК-100, Сентябрянка и Китросса. Установлено, что штаммы, имеющие множественную лекарственную устойчивость к АБП, показали высокую эффективность на сортах сои в полевых испытаниях.

Ключевые слова: клубеньковые бактерии сои, ризобии, *Bradyrhizobium japonicum*, *Sinorhizobium fredii*, *Bradyrhizobium elkanii*, штаммы, антибиотики, резистентность, соя, урожайность

Для цитирования: Сорокина А.И., Якименко М.В., Татаренко И.Ю. Оценка чувствительности к антибиотикам штаммов ризобий, выделенных из почв Дальнего Востока, и испытание их эффективности на сортах сои амурской селекции // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 3. С. 107–118. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_229_03_11.

Original article

Evaluation of antibiotic sensitivity of rhizobia strains isolated from soils of the Far East and testing of their effectiveness on varieties of soybeans of Amur breeding

A.I. Sorokina, M.V. Yakimenko, I.Yu. Tatarenko

Arina I. Sorokina

Candidate of Sciences in Veterinary, Leading Researcher
All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans, Blagoveshchensk, Russia
aziradot@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-4611-767x>

Maria V. Yakimenko

Candidate of Sciences in Biology, Leading Researcher, Chief of Laboratory
All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans, Blagoveshchensk, Russia
mariy-y@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1141-1900>

Igor Yu. Tatarenko

Candidate of Sciences in Agriculture, Researcher
All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans, Blagoveshchensk, Russia
tigy@vniisoi.ru
<http://orcid.org/0000-0003-0098-3484>
All-Russian Scientific Research Institute of Soybeans, Blagoveshchensk, Russia

Abstract. The assessment of resistance to antibacterial drugs (ABP) of strains of *Bradyrhizobium japonicum* (Jordan, 1982), *Sinorhizobium fredii* (Scholla, Elkan, 1984) and *Bradyrhizobium elkanii* (Kuykendall et al., 1992) from the collection of the FSBSI Research Institute of Soybean was carried out and their effectiveness was tested on soybean varieties Harmonia, MK-100, Sentyabrinka and Kitross. It was found that strains with multidrug resistance to antibacterial drugs showed high efficacy on soybean varieties in field experiments.

Keywords: soybean nodule bacteria, rhizobia, *Bradyrhizobium japonicum*, *Sinorhizobium fredii*, *Bradyrhizobium elkanii*, strains, antibiotics, resistance, soy, yield

For citation: Sorokina A.I., Yakimenko M.V., Tatarenko I.Yu. Evaluation of antibiotic sensitivity of rhizobia strains isolated from soils of the Far East and testing of their effectiveness on varieties of soybeans of Amur breeding. *Vestnik of the FEB RAS*. 2023;(3):107-118. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2023_229_03_11.

Введение

Предпосевная обработка семян бобовых культур ризобияльными препаратами (инокулянтами) на основе отселектированных штаммов способствует увеличению в почве количества активных клубеньковых бактерий, усилению природного процесса фиксации атмосферного азота и повышению урожайности [1, 2]. Многолетний опыт искусственной инокуляции бобовых культур свидетельствует о том, что это наиболее простой и экономичный способ увеличения урожая бобовых в среднем на 10–15 %, а в новых районах возделывания – на 40–50 % и более. Кроме того, этот агроприем способствует улучшению качества получаемой продукции [3–5].

Реакция растений на инокуляцию зависит от различных экологических и генетических факторов, проблемы часто возникают в том числе из-за неспособности штаммов-инокулянтов закрепиться в почве [6, 7]. Это связано с тем, что ризосфера содержит в своем составе популяции разнообразных конкурирующих микроорганизмов, некоторые из них даже продуцируют антибиотические вещества, например *Streptomyces coelicolor* и *S. griseus* – гентамицин и стрептомицин соответственно. Различные группы антибиотиков по-разному воздействуют на клетку бактерии, это вмешательство в синтез клеточной стенки, ингибирование синтеза белка, нуклеиновых кислот и метаболических путей, нарушение структуры самой бактериальной клетки.

Накопление антибиотиков в почве летально для восприимчивой популяции ризобий, ведет к уменьшению их количества и в конечном счете к снижению общей азотфиксации [8]. И наоборот, устойчивые к антибиотикам изоляты ризобий могут конкурировать с почвенными микроорганизмами – антагонистами, продуцирующими эти антибиотики, а также с резистентными ризобиями [9].

Внутренняя устойчивость¹ ризобий к антибиотикам у клубеньковых бактерий является свойством, которое увеличивает выживаемость, размножение, стабильность и конкурентоспособность штаммов в почве. При этом они должны сохранять свою вирулентность и эффективность. В ряде литературных источников установлено, что выделенные из клубеньков бобовых растений штаммы ризобий с высокой IAR более эффективны и вирулентны, при этом одни штаммы были резистентны к одному антибиотику, а другие – к нескольким, что отражает изменчивость внутри популяции [10, 11]. Устойчивость к антибиотикам является ценным селекционным маркером, достаточно простым средством оценки видовой идентификации, а также позволяет охарактеризовать выделенные аборигенные штаммы по конкурентоспособности и эффективности и использовать их в качестве штаммов-инокулянтов [12–14].

Считается, что штаммы из аборигенных популяций превосходят индуцированные штаммы-инокулянты по эффективности и вирулентности. Дальневосточный сосеюющий регион – единственный в России, где в почвах повсеместно распространены природные популяции клубеньковых бактерий сои. Формирование их в естественно-историческом плане связано с распространением в регионе

¹ Внутренняя, или природная, лекарственная устойчивость (IAR) – способность микроорганизмов сохранять жизнеспособность в присутствии больших концентраций антибиотиков или химиотерапевтических средств иной природы; является постоянным видовым признаком и характеризуется отсутствием у микроорганизмов мишени действия антибиотика вследствие низкой проницаемости клеточной стенки или ферментативной активности [10].

дикорастущей (уссурийской) сои, а позднее – с систематическим расширением посевов культурной сои [15]. Фактически дальневосточные природные популяции ризобий – это значимый природный ресурс, позволяющий вести отбор наиболее ценных по хозяйственно полезным свойствам штаммов.

Цель исследований – сравнить лекарственную устойчивость коллекционных штаммов ризобий 3 видов, выделенных из почв Дальнего Востока, и изучить их эффективность на сортах сои амурской селекции.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись чистые культуры ризобий видов *Bradyrhizobium japonicum*, *B. elkanii*, *Sinorhizobium fredii* и сорта сои селекции ВНИИ сои Гармония, МК-100, Китросса, Сентябрянка.

Определение чувствительности штаммов *B. japonicum*, *S. fredii* и *B. elkanii* к антибиотическим препаратам (АБП) проводили диско-диффузным методом [16]. В стерильные чашки Петри в стерильных условиях бокса наливали питательную агаризованную среду МДА толщиной $4 \pm 0,5$ мм (что соответствует 25 мл среды на круглую чашку Петри диаметром 90 мм; 31 мл на круглую чашку Петри диаметром 100 мм, 71 мл на круглую чашку Петри диаметром 150 мм) следующего состава (г/л): K_2HPO_4 – 0,5, $MgSO_4$ – 0,2, NaCl – 0,1, $CaCO_3$ – 0,1, дрожжевой экстракт – 0,2, маннит – 10,0, агар-агар – 20. Для получения сплошного газона изучаемых штаммов в подготовленные чашки, соблюдая стерильность, вносили по 1 мл бактериальной суспензии (10^9 КОЕ/мл), равномерно распределяли ее стерильным шпателем Дригальского по всей поверхности питательной среды. Среду подсушивания в боксе 5–10 мин, затем в течение 15 мин с помощью стерильного пинцета в стерильных условиях на поверхность МДА раскладывали диски, пропитанные антибиотиками, на расстоянии 15 мм от края чашки и не менее 30 мм между дисками. Для обеспечения хорошей постоянной диффузии антибиотиков каждый диск плотно прижимали к агару. Резистентность определяли к следующим антибиотикам (мкг): налидиксовой кислоте (30), карбенициллину (100), стрептомицину (10), эритромицину (15), рифампицину (5), тетрациклину (30). После инкубации (3–5 сут. для *S. fredii*, 7 сут. для *B. japonicum* и *B. elkanii*) при температуре 27–28 °С оценку и учет результатов проводили по диаметру зоны подавления роста штамма: до 10 мм – резистентные (R), от 10 до 15 мм – умеренно резистентные (I), от 15 до 25 мм – чувствительные (S), свыше 25 мм – высоко чувствительные (HS).

Полевые опыты по изучению эффективности штаммов *B. japonicum*, *S. fredii* и *B. elkanii* проводили в 2014–2015, 2019 и 2021 гг. на луговой черноземовидной почве в с. Садовое Тамбовского района Амурской области. Площадь учетной делянки составляла 2,7 м² (3,0 × 0,9 м), повторность в опыте 4-кратная.

Агротехника возделывания сои в мелкоделяночных опытах включала осеннюю вспашку с боронованием почвы, весеннюю культивацию зяби, допосевное внесение гербицида ГардоГолд 4 л/га в почву, культивирование, боронование, прикапывание гладкими катками, маркирование опытного участка. Семена сои сортов Китросса, Гармония, МК-100, Сентябрянка высевали ручным способом, сажалками через 10 см по 2 семени в точку, на глубину 4–5 см. Посев широкорядный с междурядьями 45 см. Предшественник – пшеница. В день посева семена сои обрабатывали бактериальной суспензией испытываемых штаммов из расчета 1 млн клеток бактерий на 1 семя. Контроль – семена сои без обработки штаммами

ризобий. Урожай сои с учетной площади убирали сплошным методом, вручную, с последующим обмолом снопов на стационарной молотилке, урожайность пересчитывали на 14%-ю влажность и 100%-ю чистоту.

Закладку, проведение полевых опытов, учет урожая, статистическую обработку урожайных данных осуществляли по методике Б.А. Доспехова с использованием программы BioStatLE7.6.1 [17]. Густоту стояния всходов сои в фазу полных всходов учитывали по методике ГСИ с записью в полевом дневнике [18].

Результаты и обсуждения

С целью отбора наиболее конкурентоспособных штаммов на чувствительность к антибиотикам провели оценку 94 штаммов *B. japonicum*, 69 – *S. fredii* и 76 – *B. elkanii*.

Из всех проанализированных штаммов *B. japonicum* 4 показали резистентность к 6 антибиотикам, 9 – к 5 АБП, т.е. 4,2 и 9,6 % соответственно (табл. 1). К 4 антибиотикам резистентность установлена у 12 штаммов (12,8 %), к 3 – у 13 (13,8 %), к 2 – у 16 (17 %), к 1 – у 19 (20,2 %). 21 штамм (22,3 %) был чувствителен ко всем антибиотикам.

Таблица 1

Наиболее устойчивые к антибиотическим препаратам штаммы *B. japonicum*

Штамм	Налидиксовая кислота	Карбенициллин	Стрептомицин	Эритромицин	Рифампицин	Тетрациклин
ЗА-20	R	R	R	R	R	R
СМ-42	R	R	R	R	R	R
ММ-117	R	R	R	R	R	R
ТМ-571	R	R	R	R	R	R
ТС-289	R	R	I	R	R	R
ТС-196	R	S	R	R	R	R
095	R	R	HS	R	R	R
ТМ-517	R	I	R	R	R	R
ТМ-484	R	I	R	R	R	R
ТМ-561	R	S	R	R	R	R
ТМ-553	R	I	R	R	R	R
Ем-2	R	R	S	R	R	R
Вм-9	S	R	R	R	R	R

Таблица 2

Распределение (% ± m) штаммов *B. japonicum* по чувствительности к антибиотическим препаратам

Препарат	Резистентные	Чувствительные
Налидиксовая кислота	53,2 ± 0,04	48,9 ± 0,03
Карбенициллин	13,9 ± 0,05	84 ± 0,03
Стрептомицин	24,5 ± 0,04	59,6 ± 0,04
Эритромицин	29,8 ± 0,03	66 ± 0,03
Рифампицин	48,9 ± 0,03	50 ± 0,03
Тетрациклин	45,8 ± 0,04	54,3 ± 0,02

Примечание. Здесь и в табл. 4 и 6: m – статистическая ошибка среднего значения.

Анализ полученных результатов показал, что в отношении испытанных антибиотических препаратов штаммы вида *B. japonicum* в основном имеют слабую IAR. В наибольшей степени они устойчивы к налидиксовой кислоте, рифампицину и тетрациклину, а к карбенициллину, стрептомицину и эритромицину было устойчиво меньшинство штаммов (табл. 2).

При оценке чувствительности к АБП *S. fredii* (табл. 3) было выявлено 9 штаммов (13 %), резистентных ко всем 6 антибиотикам (МБ-85, ББ-90, 062, ТБ-491, ТБ-563, СБ-51, ТБ-640, ТБ-588, КНР6), 21 (30,4 %) – к 5, 18 (26 %) – к 4, 17 (24,6 %) – к 3, по 4 штамма (5,8 %) – к 2 и 1 антибиотику; чувствительность ко всем 6 антибиотикам показали 5 штаммов (7,3 %).

Таблица 3

Наиболее устойчивые к антибиотическим препаратам штаммы *S. fredii*

Штамм	Налидиксо- вая кислота	Карбени- циллин	Стрептоми- цин	Эритроми- цин	Рифампи- цин	Тетраци- клин
МБ-85	R	R	R	R	R	R
ББ-90	R	R	R	R	R	R
062	R	R	R	R	R	R
ТБ-491	R	R	R	R	R	R
ТБ-563	R	R	R	R	R	R
СБ-51	R	R	R	R	R	R
ТБ-640	R	R	R	R	R	R
ТБ-588	R	R	R	R	R	R
КНР6	R	R	R	R	R	R
СБ-43	R	R	R	R	R	S
Буд-57	R	R	R	S	R	R
СБ-39	R	R	R	R	R	S
МБ-86	R	R	R	R	R	S
ББ-55	R	R	R	R	R	S
ТБ-498	I	R	R	R	R	R
ББ-87	R	R	R	R	R	S
ОБ-43	R	R	R	R	R	HS
ТБ-589	R	R	R	R	R	S
ТБ-588	R	R	R	S	R	R
ОБ-46	R	R	R	R	R	S
ТБ-467	R	R	R	R	R	S
ББ-112	R	S	R	R	R	R
ТБ-418	R	R	R	R	R	S
ТБ-508	R	R	R	R	R	S
ББ-43	R	R	R	R	R	S
ТБ-640	R	R	R	R	R	S
ТБ-606	R	R	R	R	R	S
ТБ-643	R	R	R	R	R	I
ОБ-47	R	R	R	R	R	I
ТБ-452	S	R	R	R	R	R

Большинство штаммов этого вида были резистентны к налидиксовой кислоте, стрептомицину, эритромицину и рифампицину (табл. 4).

Таблица 4

**Распределение (% ± m) штаммов *S. fredii*
по чувствительности к антибиотическим препаратам**

Препарат	Резистентные	Чувствительные
Налидиксовая кислота	72,4 ± 0,03	27,5 ± 0,03
Карбенициллин	43,4 ± 0,02	56,2 ± 0,01
Стрептомицин	79,7 ± 0,03	21,7 ± 0,01
Эритромицин	68,1 ± 0,02	37,7 ± 0,03
Рифампицин	68,1 ± 0,02	31,9 ± 0,03
Тетрациклин	30,4 ± 0,04	68,1 ± 0,02

В результате проведенных исследований установлено, что к испытанным антибиотическим препаратам штаммы *S. fredii* имеют хорошую множественную лекарственную устойчивость, наиболее чувствительны они к тетрациклину и карбенициллину.

Из 76 проанализированных штаммов *B. elkanii* 6 штаммов (4,5 %) показали резистентность ко всем 6 антибиотикам (Бу-4, Вр-22, Ву-34, Ву-35, Ву-37, Ву-38), 22 (16,7 %) – к 5 (табл. 5). У 19 штаммов (14,5 %) отмечена устойчивость к 4 АБП, у 14 (10,7 %) – к 3, у 12 (9,1 %) – к 2, у 3 (2,28 %) – к 1 АБП.

Таблица 5

Наиболее устойчивые к антибиотическим препаратам штаммы *B. elkanii*

Штамм	Налидиксовая кислота	Карбенициллин	Стрептомицин	Эритромицин	Рифампицин	Тетрациклин
Бу-4	R	R	R	R	R	R
Вр-22	R	R	R	R	R	R
Ву-34	R	R	R	R	R	R
Ву-35	R	R	R	R	R	R
Ву-37	R	R	R	R	R	R
Ву-38	R	R	R	R	R	R
Ву-6	R	S	R	R	R	R
Ву-9	R	S	R	R	R	R
Ву-22	R	R	R	R	R	S
Ву-20	R	R	R	R	R	I
Вр-24	R	S	R	R	R	R
Вр-20	R	S	R	R	R	R
Вр-1	R	S	R	R	R	R
Вр-3	R	S	R	R	R	R
Вр-26	R	S	R	R	R	R
Вр-29	R	S	R	R	R	R
Вр-33	R	I	R	R	R	R
Вр-36	R	R	S	R	R	R
Вр-38	R	S	R	R	R	R
Вр-39	R	R	R	R	R	I
Ф3-1	R	I	R	R	R	R
Ф3-9	R	I	R	R	R	R
Ф3-14	R	R	R	R	R	I
Ф3-15	R	R	R	R	R	I
Ф3-17	R	R	R	R	R	I
Ф3-25	R	R	R	R	R	S
Ф3-19	R	R	R	R	R	S
Мд-5	R	R	R	R	R	S

Таблица 6

Распределение (% ± m) штаммов *B. elkanii* по чувствительности к антибиотическим препаратам

Препарат	Резистентные	Чувствительные
Налидиксовая кислота	82 ± 0,04	18 ± 0,04
Карбенициллин	58 ± 0,05	42 ± 0,04
Стрептомицин	97 ± 0,03	3 ± 0,03
Эритромицин	93 ± 0,03	7 ± 0,03
Рифампицин	88 ± 0,03	12 ± 0,04
Тетрациклин	57 ± 0,05	43 ± 0,04

У большинства изучаемых чистых культур *B. elkanii* отмечена высокая резистентность к стрептомицину, эритромицину, рифампицину, налидиксовой кислоте (табл. 6).

Таким образом, из трех видов ризобий наибольшую IAR имеют штаммы *B. elkanii* и *S. fredii*.

В 2014 г. изучали эффективность 12 штаммов ризобий видов *B. japonicum* и *S. fredii* на сорте сои Гармония (табл. 7). Штаммы ризобий *S. fredii* ББ-49, КБ-11, ББ-55, ТБ-508, ТБ-467, ББ-90 и ТБ-643, которые имели высокую множественную резистентность к АПБ, достоверно повысили урожайность семян сои сорта Гармония на 0,19–0,31 т/га (НСР₀₅ 0,15). Наиболее высокие прибавки надземной массы сои обеспечили штаммы КБ-11, ББ-55, ББ-90.

В 2015 г. аналогичный опыт с 14 штаммами *B. japonicum* и *S. fredii* провели на сорте сои МК-100 (табл. 7). Наиболее высокие прибавки урожайности надземной массы (0,69–0,79 т/га) и семян (0,41–0,58 т/га) сои наблюдались от применения штаммов ББ-49, БМ-85 и СМ-42, который обладает высокой антибиотикорезистентностью. Остальные 11 штаммов достоверно повысили семенную продуктивность сои на 0,19–0,38 т/га и надземной массы на 0,32–0,57 т/га; из них штаммы ММ-117, ББ-55, ТБ-508, ББ-90, ТБ-643 имеют высокую резистентность к АБП. В качестве штамма-стандарта был взят штамм *B. japonicum* 648а.

Таблица 7

Влияние штаммов ризобий *B. japonicum* и *S. fredii на урожайность сортов сои Гармония (2014 г.) и МК-100 (2015 г.), т/га**

Штамм	Гармония		МК-100	
	Надземная масса	Семена	Надземная масса	Семена
Контроль	5,37	2,49	6,62	3,07
648а	5,49	2,62	7,11	3,38
ММ-117	5,68	2,67	7,19	3,29
БМ-85	5,55	2,64	7,39	3,48
ББ-49*	5,71	2,73	7,31	3,65
КБ-11*	5,89	2,73	6,95	3,26
СМ-42	5,74	2,68	7,41	3,53
ББ-55*	5,86	2,80	6,99	3,27
ТБ-508*	5,62	2,68	7,13	3,45
ТМ-467	5,40	2,71	7,12	3,38
ББ-90*	5,86	2,69	6,99	3,39
ТБ-490*	5,49	2,58	–	–
ТБ-643*	5,71	2,71	7,11	3,36
БД-32*	–	–	7,04	3,38
ТМ-469	–	–	7,01	3,28
ТМ-455	–	–	7,04	3,32
НСР _{0,5}		0,15		0,19

В 2019 г. на скороспелом сорте сои Сентябрька испытывали штаммы ризобий вида *B. elkanii* ФЗ-3, Вр-9, показавшие вирулентность в лабораторном опыте, и Ву-4, Ву-6, Ву-20, Вр-1 с сильной резистентностью к антибиотическим препаратам (табл. 8).

Наибольшее увеличение надземной массы относительно контроля (0,15 т/га) было получено от обработки семян сои сорта Сентябрька штаммом *B. elkanii* Вр-1. Достоверные прибавки урожайности семян (0,09–0,19 т/га) обеспечивали

Таблица 8

Показатели эффективности (т/га) применения штаммов ризобий вида *B. elkanii* на сое сорта Сентябрька, 2019 г.

Штамм	Урожайность		Прибавка урожайности	
	Надземная масса	Семена	Надземная масса	Семена
Контроль	5,26	2,60	–	–
СМ-42	5,30	2,69	0,04	0,09
ФЗ-3	5,25	2,70	0	0,1
Ву-4	5,34	2,69	0,08	0,09
Ву-6	5,20	2,79	0	0,19
Ву-20	5,30	2,69	0,04	0,09
Вр-1	5,41	2,72	0,15	0,12
Вр-9	5,1	2,25	0	0
НСР ₀₅	–	–	0,08	0,07

штаммы *B. elkanii* Ву-4, Ву-6, Ву-20, Вр-1 и ФЗ-3. Из них первые четыре имели сильную множественную лекарственную устойчивость. Максимальная урожайность семян сои сорта Сентябрька была в варианте со штаммом Ву-6.

В 2021 г. были проведены полевые опыты по изучению эффективности коллекционных штаммов *B. elkanii* на сое сорта Китросса. Испытывали 13 штаммов ризобий этого вида и в качестве стандарта использовали запатентованный штамм *B. japonicum* 648a (табл. 9).

Таблица 9

Показатели эффективности (т/га) штаммов *B. elkanii* на сое сорта Китросса, 2021 г.

Штамм	Урожайность		Прибавка урожайности	
	Надземная масса	Семена	Надземная масса	Семена
Контроль	7,78	2,61	–	–
648a	7,49	2,92	0	0,31
Ву-4	8,34	3,11	0,56	0,5
Ву-5	7,61	2,98	0	0,37
Ву-6	8,15	2,95	0,37	0,34
Ву-8	7,08	2,60	0	0
Ву-9	8,29	3,27	0,51	0,66
Ву-10	7,35	2,54	0	0
Ву-11	7,75	2,74	0	0,13
Ву-12	7,54	2,61	0	0
Ву-15	7,40	2,81	0	0,2
Ву-22	7,39	2,70	0	0,09
Ву-25	7,64	2,94	0	0,33
Ву-30	7,95	2,80	0,17	0,19
Ву-31	7,32	2,79	0	0,18
НСР ₀₅	–	0,27	0,22	–

Урожайность надземной массы сои колебалась от 7,08 (штамм Ву-8) до 8,34 т/га (штамм Ву-4). Наиболее высокие достоверные прибавки урожайности надземной массы сои были получены в вариантах с инокуляцией семян сои штаммами Ву-4, Ву-6, Ву-9.

Урожайность семян сои изменялась от 2,54 (штамм Ву-10) до 3,27 т/га (штамм Ву-9). Наиболее достоверные прибавки урожайности были получены от обработки семян штаммами Ву-4 и Ву-9, которые показали сильную резистентность к антибиотикам.

Выводы

Установлено, что:

штаммы *Bradyrhizobium japonicum* (СМ-42, ММ-117), *B. elkanii* (Ву-4, Ву-6, Ву-9, Ву-20, Вр-1) и *Sinorhizobium fredii* (ББ-55, ТБ-508, ТБ-467, ББ-90, ТБ-643) с множественной лекарственной устойчивостью имеют высокую эффективность на сортах сои амурской селекции;

у штаммов *S. fredii* и *B. elkanii* более высокая множественная лекарственная устойчивость к антибиотикам (IAR) по сравнению с *B. japonicum*, они могут обладать более высокими адаптационными свойствами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новикова А.Т., Тильба В.А., Бегун С.А., Лупашку З.А. Распространение клубеньковых бактерий сои в различных почвах страны и эффективность нитрагинизации сои // Соя и нитрагин. 1976. Вып. 1. С. 3–18. – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35444195> (дата обращения: 4.04.2023).
2. Миннебаев Л.Ф., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф. и др. Продуктивность бобово-ризобияльного комплекса под влиянием ростстимулирующих штаммов микроорганизмов // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 3. С. 481–493. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.481rus.
3. Jesus E. da C., Leite R. de A., Bastos R. do A. et al. Co-inoculation of *Bradyrhizobium* stimulates the symbiosis efficiency of *Rhizobium* with common bean // Plant Soil. 2018. Vol. 425. P. 201–215. DOI: 10.1007/s11104-017-3541-1.
4. Benselama A., Tallan S., Ounane S.M., Bekki A. Effects of inoculation by *Bradyrhizobium japonicum* strains on nodulation, nitrogen fixation, and yield of *Lablab purpureus* in Algeria // Turkish J. Agricultural and Natural Sci. 2014. Spec. iss. 2. P. 1870–1876.
5. Кожемяков А.П., Белоброва С.Н., Орлова А.Г. Создание и анализ базы данных по эффективности микробных препаратов комплексного действия // Сельскохозяйственная биология. 2011. Т. 46, № 3. С. 112–115.
6. Tas E., Leinonen P., Saamo A., Räsänen L. Assessment of competitiveness of rhizobia infecting *Galega orientalis* on the basis of plant yield, nodulation, and strain identification by antibiotic resistance and PCR // Appl. Envir. Microbiol. 1996. Vol. 62, N 2. P. 529–535. DOI: 10.1128/AEM.62.2.529-535.1996.
7. Ramirez M.E., Israel D.W., Wollum A.G. Using spontaneous antibiotic-resistant mutants to assess competitiveness of bradyrhizobial inoculant for nodulation of soybean // Can. J. Microbiol. 1998. Vol. 44. P. 753–758. DOI: 10.1139/w98-063.
8. Naamala J., Jaiswal S.K., Dakora F.D. Antibiotics resistance in *Rhizobium*: Type, process, mechanism and benefit for agriculture // Curr Microbiol. 2016. Vol. 72. P. 804–816.
9. Nahar N., Begum A., Akhter H. Isolation, identification and molecular characterization of *Rhizobium* species from *Sesbania bispinosa* cultivated in Bangladesh // AJAR. 2017. Vol. 12, N 22. P. 1874–1880.
10. Youangang Gougou H.S., Ngo Nkot L., Carnot A.C. et al. Isolation and characterization of legume nodulating bacteria obtained from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodules // GJSJ. 2020. Vol. 8, N 5. P. 1777–1792.
11. Ngo Nkot L., Mda Edou S.J., Youangang Gougou H.S. et al. In vitro assessment of IAA production and antibiotic tolerance of peanut (*Arachis hypogaea* L.) nodulating bacteria // Intern. J. Innovative Sci. Res. Technol. 2021. Vol. 8, N 1. P. 1181–1187.
12. Date R.A., Hurse L.S. Intrinsic antibiotic resistance and serological characterization of population of indigenous *Bradyrhizobium* isolated from nodules of *Desmodium intortum* and *Macroptilium atropurpureum* in three soils of S.E. Queensland // Soil Biology and Biochemistry. 1991. Vol. 23. P. 551–561. DOI: 10.1016/0038-0717(91)90112-W.

13. Kuykendall L.D., Saxena B., Devine T.E., Udell S.E. Genetic diversity in *Bradyrhizobium japonicum* Jordan 1982 and a proposal for *Bradyrhizobium elkanii* sp. nov. // *Can. J. Microbiol.* 1992. Vol. 38, N 6. P. 501–505. DOI: 10.1139/m92-082.
14. Abaidoo R.S., Keyser H.H., Singleton P.W. et al. Comparison of molecular and antibiotic resistance profile methods for the population analysis of *Bradyrhizobium* spp. (TGx) isolates that nodulate the new TGx soybean cultivars in Africa // *J. Appl. Microbiol.* 2002. Vol. 92. P. 109–117.
15. Система земледелия Амурской области / отв. ред. В.А. Тильба. Благовещенск: Приамурье, 2003. 304 с.
16. Определение чувствительности микроорганизмов к антимикробным препаратам: клинические рекомендации / Межрегион. ассоц. по клинической микробиологии и антимикробной химиотерапии. М., 2015. 162 с. – <https://spbmiac.ru/wp-content/uploads/2017/12/KR-po-opredeleniyu-chuvstvitelnosti-MO-k-AMP.pdf> (дата обращения: 18.02.2021).
17. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
18. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / под общ. ред. М.А. Федина. М., 1985. 263 с.

REFERENCES

1. Novikova A.T., Til'ba V.A., Begun S.A., Lupashky Z.A. Rasprostranenie klubenkovykh bakterii soi v razlichnykh pochvakh strany i effektivnost nitraginizatsii soi = [Distribution of soy nodule bacteria in various soils of the country and efficiency of soy nitraginization]. *Soya i nitragin.* 1976;(1):3-18. (In Russ.).
2. Minnebaev L.F., Kuzina E.V., Rafikova G.F. et al. Produktivnost' bobovo-rizobial'nogo kompleksa pod vliyaniem roststimuliruyushchikh shtammov mikroorganizmov = [Productivity of the legume-rhizobium complex influenced by growth-stimulating strains of microorganisms]. *Agricultural Biology.* 2019;54(3):481-493. (In Russ.). DOI: 10.15389/agrobiology.2019.3.481rus.
3. Jesus E. da C., Leite R. de A., Bastos R. do A. et al. Co-inoculation of *Bradyrhizobium* stimulates the symbiosis efficiency of *Rhizobium* with common bean. *Plant Soil.* 2018;425:201-215. DOI: 10.1007/s11104-017-3541-1.
4. Benselama A., Tallan S., Ounane S.M., Bekki A. Effects of inoculation by *Bradyrhizobium japonicum* strains on nodulation, nitrogen fixation, and yield of *Lablab purpureus* in Algeria. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences.* 2014;(2):1870-1876.
5. Kozhemyakov A.P., Belobrova S.N., Orlova A.G. Sozdanie i analiz bazy dannykh po effektivnosti mikrobykh preparatov kompleksnogo deystviya = [Reating and analysing a database on the efficiency of microbial preparations of complex action]. *Agricultural Biology.* 2011;46(3):112-115. (In Russ.).
6. Tas E., Leinonen P., Saamo A., Räsänen L. Assessment of competitiveness of rhizobia infecting *Galega orientalis* on the basis of plant yield, nodulation, and strain identification by antibiotic resistance and PCR. *Applied and Environmental Microbiology.* 1996;62(2):529-535. DOI: 10.1128/AEM.62.2.529-535.1996.
7. Ramires M.E., Israel D.W., Wollum A.G. Using spontaneous antibiotic-resistant mutants to assess competitiveness of bradyrhizobial inoculant for nodulation of soybean. *Can. J. Microbiol.* 1998;44:753-758. DOI: 10.1139/w98-063.
8. Naamala J., Jaiswal S.K., Dakora F.D. Antibiotics resistance in *Rhizobium*: Type, process, mechanism and benefit for agriculture. *Curr. Microbiol.* 2016;72:804-816. DOI: 10.1007/s00284-016-1005-0.
9. Nahar N., Begum A., Akhter H. Isolation identification and molecular characterization of *Rhizobium* species from *Sesbania bispinosa* cultivated in Bangladesh. *AJAR.* 2017;12(22):1874-1880. DOI: 10.5897/AJAR2017.12321.
10. Yougang Gougou H.S., Ngo Nkot L., Carnot A.C. et al. Isolation and characterization of legume nodulating bacteria obtained from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) nodules. *GSI.* 2020;8(5):1777-1792.
11. Ngo Nkot L., Mda Edou S.J., Yougang Gougou H.S. et al. In vitro assessment of IAA production and antibiotic tolerance of peanut (*Arachis hypogaeae* L.) nodulating bacteria. *International Journal of Innovative Science and Research Technology.* 2021;8(1):1181-1187.
12. Date R.A., Hurse L.S. Intrinsic antibiotic resistance and serological characterization of population of indigenous *Bradyrhizobium* isolated from nodules of *Desmodium intortum* and *Macroptilium*

atropurpureum in three soils of S.E. Queensland. *Soil Biology and Biochemistry*. 1991;23:551-561. DOI: 10.1016/0038-0717(91)90112-W.

13. Kuykendall L.D., Saxena B., Devine T.E., Udell S.E. Genetic diversity in *Bradyrhizobium japonicum* Jordan 1982 and a proposal for *Bradyrhizobium elkanii* sp. nov. *Can. J. Microbiol.* 1992;38(6):501-505. DOI: 10.1139/m92-082.

14. Abaidoo R.S., Keyser H.H., Singleton P.W., Borthakur D. Comparison of molecular and antibiotic resistance profile methods for the population analysis of *Bradyrhizobium* spp. (TGx) isolates that nodulate the new TGx soybean cultivars in Africa. *J. Appl. Microbiol.* 2002;92:109-117. DOI: 10.1046/j1365-2672.2002.01518x.

15. Til'ba V.A. (ed.) Sistema zemledeliya Amurskoj odlasti = [The system of agriculture of the Amur region]. Blagoveshcensk: Priamur'e; 2003. 304 p. (In Russ.).

16. Opredelenie chuvstvitel'nosti mikroorganizmov k antimikrobnym preparatam: klinicheskie rekomendatsii = [Determination of the sensitivity of microorganisms to antimicrobial drugs: clinical recommendations]. Moscow; 2015. 162 p. Available from: <https://flm.kz/files/14062184925c1281c1dfd6b.pdf>. [Accessed March 21, 2020] (In Russ.).

17. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy). Moscow: Kolos; 1979. 416 p. (In Russ.).

18. Fedin M.A. (ed.). Metodika gosudarstvennogo sortoispytania sel'skokhozyajstvennykh kul'tur = [Methodology of State variety testing of agricultural crops]. Moscow; 1985. 263 p. (In Russ.).