

А.Н. БЫКОВСКАЯ, М.Л. СИДОРЕНКО, Н.А. СЛЕПЦОВА,
А.Г. КЛЫКОВ, В.В. БЕРЕЖНАЯ, Д.А. КОЛЕСНИКОВА

Применение агрономически ценных бактерий для повышения почвенного плодородия и урожайности ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.)

Изучено влияние консорциумов азотфиксирующих, фосфат- и калийсолюбилизующих бактерий на урожайность ярового ячменя. Установлено положительное воздействие на содержание в почве доступных форм азота, фосфора и калия. В почвах опытных делянок зафиксировано увеличение численности изучаемых бактерий. Получена прибавка урожайности зерна ярового ячменя до 10,8 %. Применение консорциума, включающего все три физиолого-биохимические группы бактерий, является наиболее перспективным для улучшения свойств почвенной среды и повышения урожайности ярового ячменя.

Ключевые слова: бактериальные препараты, инокуляция семян, обработка всходов, урожайность, яровой ячмень.

The agronomically valuable bacteria application for increasing of soil fertility and spring barley (*Hordeum vulgare* L.) productivity. A.N. BYKOVSKAYA¹, M.L. SIDORENKO¹, N.A. SLEPTSOVA¹, A.G. KLYKOV², V.V. BEREZHNAJA², D.A. KOLESNIKOVA¹ (¹Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, ²Federal Scientific Center of agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Timiryazevsky village, Primorsky Krai).

The goal is studying the effect of nitrogen-fixing, phosphate-solubilizing and potassium-solubilizing bacteria on the spring barley productivity. A positive effect on the available forms of nitrogen, phosphorus, and potassium content in the soil has been established. In the experimental soils, an increase in the studying bacteria abundance was recorded. Spring barley yield increasing up to 10.8 % was obtained. It has been established that the application of the consortium including all three bacterial physiological and biochemical groups is the most promising for improving soil environment properties and spring barley productivity.

Key words: bacterial preparations, seed inoculation, seedling treatment, productivity, spring barley.

Введение

Увеличение объемов производства продукции земледелия зависит главным образом от плодородия почвы. Биолого-экологический подход в системе устойчивого земледелия получил широкое распространение вследствие серьезных негативных

*БЫКОВСКАЯ Анастасия Николаевна – аспирант, младший научный сотрудник, СИДОРЕНКО Марина Леонидовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, СЛЕПЦОВА Надежда Андреевна – аспирант, ведущий инженер, КОЛЕСНИКОВА Дарья Алексеевна – лаборант (Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток), КЛЫКОВ Алексей Григорьевич – член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, заведующий отделом, БЕРЕЖНАЯ Виктория Васильевна – аспирант, агрохимик 2-й категории (Федеральный научный центр агроботехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Приморский край, пос. Тимирязевский). *E-mail: anastasia_n.boiko@inbox.ru

экологических последствий в результате широкомасштабной химизации [14, 16]. Возможность получения урожая высокого качества без вреда для окружающей среды все чаще связывают с направленным использованием биопрепаратов на основе микроорганизмов. Такие микроорганизмы обладают свойствами, определяющими их агротехнологическую ценность: способностью фиксировать молекулярный азот, переводить элементы питания растений из нерастворимых соединений в доступные формы, синтезировать фитогормоны и соединения, угнетающие развитие фитопатогенов, производить метаболиты, обладающие протекторными свойствами в отношении стресс-факторов среды [21]. Среди агрономически ценных микроорганизмов особое внимание уделяется азотфиксирующим, фосфат- и калийсолубилизирующим бактериям в силу того, что, несмотря на высокие общие запасы азота, фосфора и калия в почве, их основная часть содержится там в виде соединений, недоступных или малодоступных для питания растений. Биопрепараты на основе этих микроорганизмов показали свою эффективность на примере большого числа культурных растений. Они обеспечивают экологически безопасное земледелие с приростом урожайности и уменьшением себестоимости продукции при сохранении плодородия почвы [8]. В то же время существующие коммерческие препараты требуют особых условий хранения, в большинстве своем имеют небольшой срок годности и недостаточную эффективность, сильно зависящую от факторов новой окружающей среды [20].

Цель данной работы – изучить влияние консорциумов агрономически ценных бактерий, выделенных из пахотных почв, подвергавшихся интенсивной химизации, на показатели почвенного плодородия и урожайность ярового ячменя.

Объекты и методы

Исследования проводились на базе Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (г. Уссурийск, пос. Тимирязевский) и Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (г. Владивосток).

В качестве сельскохозяйственной культуры для оценки влияния почвенных микроорганизмов на продуктивность растений был взят яровой ячмень *Hordeum vulgare* L. сорта «Восточный», селекции ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки.

Объектом исследования являлись штаммы почвенных бактерий из коллекции микроорганизмов Сектора почвоведения и экологии почв ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. В работе использовали бактериальные штаммы: АФ – обладающий азотфиксирующей способностью, ФС1, ФС2 – способные переводить нерастворимые фосфаты почвы в доступную для растений форму, КС – штамм калийсолубилизирующих бактерий. Все штаммы выделены из пахотных почв, испытывающих воздействие интенсивных агротехнологий. Ранее в рамках полевых испытаний данные микроорганизмы в различных комбинациях продемонстрировали хорошую совместимость и оказали положительное влияние на продуктивность пшеницы [4]. Из штаммов азотфиксаторов, фосфат- и калийсолубилизаторов были составлены консорциумы бактерий, представленные в виде суспензии светло-коричневого цвета со специфическим запахом. Контролем для сравнения выступал коммерческий препарат «Экстрасол», содержащий штамм активных ризосферных азотфиксирующих бактерий *Bacillus subtilis* и их метаболиты. Консорциумы бактерий и «Экстрасол» применяли для предпосевной обработки семян в день посева (раствор рабочей жидкости 10 л/т) и опрыскивания растений в фазу всходов (раствор рабочей жидкости 300 л/га).

Полевые испытания проводились на опытном поле ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки. Посев осуществлялся сеялкой СКС 6-10, норма высева 5,5 млн всхожих семян на 1 га. Площадь делянки 15 м², в трехкратной повторности, размещение вариантов рендомизированное. Предшественник – соя. Почва опытного участка – лугово-бурая оподзоленная, тяжело суглинистая, содержание органического вещества 2,51 %,

N л.г. – 63, P₂O₅ – 32 и K₂O – 135 мг/кг, рН_{кел} – 6,4, S – 22 и Нг – 1,30 мг-экв. на 100 г почвы. Численность микроорганизмов изучаемых физиолого-биохимических групп в почве на момент закладки опыта: азотфиксаторы – $3,7 \times 10^5$ КОЕ/г почвы, калий- и фосфатсолобилизирующих микроорганизмов не выявлено.

Схема опыта по изучению влияния консорциумов бактерий на урожайность ячменя включала 11 вариантов:

- 1) контроль (без обработки);
- 2) контроль сравнения – «Экстрасол» (предпосевная обработка семян);
- 3) АФ+КС+ФС1 (предпосевная обработка семян);
- 4) ФС2+КС (предпосевная обработка семян);
- 5) АФ+КС (предпосевная обработка семян);
- 6) АФ+ФС2 (предпосевная обработка семян);
- 7) контроль сравнения – «Экстрасол» (обработка по всходам);
- 8) АФ+КС+ФС1 (обработка по всходам);
- 9) ФС2+КС (обработка по всходам);
- 10) АФ+КС (обработка по всходам);
- 11) АФ+ФС2 (обработка по всходам).

Отбор почвенных образцов для агрохимического анализа проводился в соответствии с ГОСТ 28168-89¹, для исследования микрофлоры – согласно ГОСТ 17.4.4.02-84² в фазу восковой спелости.

Легкогидролизуемый (подвижный) азот определяли методом Тюрина и Кононовой [1], подвижный фосфор калия – методом Кирсанова в модификации ЦИНАО³, рН – в соответствии с ГОСТ 26483-85⁴, органическое вещество почвы – согласно ГОСТ 26213-91⁵. Численность азотфиксирующих, фосфат- и калийсолобилизирующих микроорганизмов оценивалась путем прямого высева почвенной суспензии на поверхность плотных селективных питательных сред: среды Эшби (Ashby's Glucose Agar, HiMedia Lab., Индия) – для азотфиксаторов, минимальной селективной среды с трикальцийфосфатом – для фосфатсолобилизаторов⁶, питательную среду, предложенную В.Г. Александровым, – для калийсолобилизирующих микроорганизмов [2].

Урожай убирали в фазу полной спелости зерна комбайном Неге 125. Статистическую обработку результатов исследований проводили дисперсионным методом по Б.А. Доспехову с использованием программы MS Office Excel [7].

Результаты и их обсуждение

По оценке обеспеченности почвенной среды доступными формами элементов питания определяется уровень плодородия почв [17]. Наибольшее внимание уделяется содержанию органического вещества, доступных форм основных элементов питания (NPK), значению рН [13].

¹ ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. Введ. 01.04.1990 г. М.: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.

² ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. Введ. 01.01.1986 г. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с.

³ ГОСТ Р 54650-2011. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Введ. 01.01.2013 г. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с.

⁴ ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. Введ. 30.06.1986 г. М.: Изд-во стандартов, 1985. 6 с.

⁵ ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. Введ. 30.06.1993 г. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с.

⁶ Фосфатрастворяющий штамм *Pseudomonas species* 181a с фунгицидными свойствами: пат. РФ 2451069 / Дунайцев И.А., Клыкова М.В., Кондрашенко Т.Н., Сомов А.Н., Старшов А.А., Аитов Р.С., Дятлов И.А.; заявл. 27.10.10; опублик. 20.05.12, Бюл. № 14.

Органическое вещество разносторонне влияет на агрономические свойства почв, являясь источником питательных элементов и оказывая воздействие на их физико-химические и водно-физические характеристики. В почвах, богатых органическим веществом, значительно ниже потери элементов минерального питания в результате сокращения миграционных процессов, а также меньше загрязнение сопряженных сред [13]. Микроорганизмы, как и другие живые системы, нуждаются в энергии и питательных веществах. Большинство почвенных микроорганизмов удовлетворяют эти потребности, используя органическое вещество почвы [10]. В нашем эксперименте в результате инокуляции семян было установлено увеличение содержания органического вещества почвы на 1,5–15,5 % в зависимости от варианта обработки. В вариантах с использованием ФС2+КС и препарата «Экстрасол» отмечено снижение данного показателя на 2,8 и 13 % соответственно. В вариантах обработки опытными бактериальными консорциумами по всходам содержание органического вещества уменьшилось на 4,0–8,4 %. Опрыскивание консорциумом АФ+ФС2, как и предпосевная обработка, увеличивает содержание органического вещества на 3,1 % по сравнению с контролем. Содержание органического вещества при обработке по всходам препаратом «Экстрасол» находилось на уровне контрольных значений (табл. 1).

Таблица 1

Агрохимические показатели почвы в фазу восковой спелости ярового ячменя

Вариант обработки	Препарат, консорциум бактерий	Органическое вещество, %	pH	N л.г., мг/кг	P _{подв.} , мг/кг	K _{подв.} , мг/кг
Контроль		3,23 ± 0,48	5,4 ± 0,1	68 ± 8	14 ± 5	130 ± 20
Предпосевная обработка семян	Экстрасол	2,81 ± 0,56	5,9 ± 0,1	67 ± 7	10 ± 3	126 ± 19
	АФ+КС+ФС1	3,28 ± 0,49	5,4 ± 0,1	78 ± 9	23 ± 8	216 ± 32
	ФС2+КС	3,14 ± 0,47	6,3 ± 0,1	66 ± 7	18 ± 6	162 ± 24
	АФ+КС	3,31 ± 0,50	6,2 ± 0,1	66 ± 7	14 ± 5	152 ± 23
Обработка по всходам	АФ+ФС2	3,73 ± 0,56	5,5 ± 0,1	71 ± 8	14 ± 5	143 ± 21
	Экстрасол	3,23 ± 0,48	6,0 ± 0,1	77 ± 8	8 ± 3	162 ± 24
	АФ+КС+ФС1	2,96 ± 0,59	6,0 ± 0,1	66 ± 7	8 ± 3	156 ± 23
	ФС2+КС	3,02 ± 0,45	6,2 ± 0,1	64 ± 7	14 ± 5	165 ± 25
	АФ+КС	3,10 ± 0,46	5,5 ± 0,1	71 ± 8	14 ± 5	140 ± 21
	АФ+ФС2	3,33 ± 0,50	5,9 ± 0,1	74 ± 8	18 ± 6	170 ± 27

При кислой реакции почв нарушается питание растений фосфором и азотом, наблюдается угнетение деятельности полезной микрофлоры. Для большинства культурных растений оптимальной является нейтральная и близкая к нейтральной реакция почвенного раствора (pH 6–7) [13]. В нашем эксперименте pH увеличился во всех опытных вариантах, вне зависимости от времени обработки бактериальными консорциумами. В вариантах с применением ФС2+КС и препарата «Экстрасол» кислотность оказалась наиболее близкой к нейтральной – 2–3 и 5,9–6,0 соответственно (табл. 1). Такой эффект может объясняться способностью почвенных микроорганизмов продуцировать щелочные метаболиты, а также влиянием микрофлоры на характер корневой экссудации [5, 18].

Оптимальное содержание элементов минерального питания в почве является одним из важнейших факторов, способствующих получению высокой урожайности и хорошему качеству продукции [15]. Азот и фосфор входят в состав многих органических молекул, без которых невозможна жизнедеятельность. Калий в растениях находится в ионной форме и не входит в состав органических соединений клеток [13]. Установлено положительное влияние консорциумов бактерий на содержание в почве опытных делянок подвижных форм азота, фосфора и калия. При этом важное значение имело время проведения обработки. Содержание подвижного азота в почве при инокуляции семян консорциумом АФ+КС+ФС1 составило 78 мг/кг, в варианте АФ+ФС2 – 71 мг/кг, что на 14,7 и 4,4 % больше контрольных значений. В почве для остальных вариантов отмечено уменьшение

подвижного азота в пределах 3 %. При опрыскивании всходов ячменя наибольшее содержание подвижного азота зафиксировано при обработке препаратом «Экстрасол» – 77 мг/кг. При опрыскивании экспериментальными консорциумами АФ+КС, АФ+ФС2 содержание подвижного азота составило 71 и 74 мг/кг соответственно, что на 4,4 и 8,8 % больше, чем в почве контрольной делянки. Важно отметить, что при опрыскивании всходов консорциумом АФ+КС+ФС1, показавшим в результате предпосевной обработки семян максимальное среди всех вариантов увеличение подвижного азота в почве, содержание данного элемента снижается на 2,9 % (табл. 1).

Содержание подвижного фосфора в почве в результате предпосевной обработки семян консорциумом АФ+КС+ФС1 составило 23 мг/кг, что на 64,3 % выше контрольных значений. В результате инокуляции консорциумом ФС2+КС содержание подвижного фосфора возросло на 28,6 % и составило 18 мг/кг. В остальных вариантах обработки по семенам экспериментальными консорциумами бактерий значение данного параметра оставалось на уровне контроля. Обработка семян препаратом «Экстрасол» способствовала уменьшению подвижного фосфора на 28,6 %. Обработка по всходам имела положительное воздействие только в варианте АФ+ФС2. Содержание подвижного фосфора при опрыскивании данным консорциумом составило 18 мг/кг, что на 28,6 % выше, чем в почве контрольной делянки. В других вариантах содержание подвижного фосфора осталось на уровне контроля или имело тенденцию к снижению (табл. 1).

Снижение содержания подвижного азота и фосфора в почве опытных делянок может быть связано с интенсификацией потребления этих элементов растениями, обусловленной стимулирующим воздействием применяемых микроорганизмов. Изучение продуктивности ячменя в различных почвенно-климатических условиях показало, что при обработке бактериальными препаратами вынос азота и фосфора увеличивался в результате повышения урожайности основной и побочной продукции [3, 8, 12].

Количество доступного калия в почве возросло во всех вариантах инокуляции семян и опрыскивания всходов ячменя, за исключением предпосевной обработки семян препаратом «Экстрасол». В результате предпосевной обработки семян экспериментальными бактериальными консорциумами содержание доступного калия варьировало в пределах 143–216 мг/кг. Наибольшее увеличение содержания этого элемента установлено для варианта, включавшего все три группы микроорганизмов (АФ+КС+ФС1), – 66,2 % относительно контрольных значений. При обработке экспериментальными бактериальными консорциумами по всходам содержание доступного калия составило 156–170 мг/кг, что на 20,0–30,8 % больше, чем в почве контрольной делянки. Обработка всходов ячменя препаратом «Экстрасол» увеличила содержание этого элемента на 24,6 % (табл. 1).

Положительное влияние консорциумов бактерий на агрохимические показатели почвы более выражено при обработке семян перед посевом. Наилучшим образом на содержание подвижных форм азота, фосфора и калия при обработке семян и всходов повлиял консорциум АФ+ФС2. Наиболее слабое воздействие оказала обработка препаратом «Экстрасол».

Почвенные микроорганизмы принимают активное участие в минерализации органических веществ, самоочищении почв, а также играют ключевую роль в естественном круговороте веществ [6]. В связи с этим почвенные микробиоценозы имеют важное значение для процессов почвообразования и питания растений [16].

Численность азотфиксирующих микроорганизмов в почве контрольной делянки составила 200 тыс. КОЕ/г (табл. 2). В результате предпосевной обработки семян количество diaзотрофов в вариантах АФ+КС+ФС1, АФ+КС, АФ+ФС2 возросло в 2,2, 1,2 и 1,3 раза соответственно. При обработке семян препаратом «Экстрасол» численность азотфиксаторов оказалась ниже в 1,3 раза, чем в почве контрольной делянки. В почвах делянок, обработанных по всходам, численность микроорганизмов, способных фиксировать азот воздуха, в варианте АФ+КС+ФС1 увеличилась в 1,5, а в варианте АФ+КС – в 1,7 раза. В других вариантах наблюдалось сокращение азотфиксирующей микрофлоры в 1,5–1,8 раза. При обработке всходов препаратом «Экстрасол» азотфиксаторов стало меньше в 5 раз.

**Численность азотфиксирующих, фосфатсольюбилизирующих
и калийсольюбилизирующих микроорганизмов в почве, КОЕ/г**

Вариант обработки	Препарат, консорциум бактерий	Азотфиксаторы	Фосфат-сольюбилизаторы	Калий-сольюбилизаторы
Контроль		$2,0 \times 10^5$	$2,0 \times 10^4$	$3,6 \times 10^4$
Предпосевная обработка семян	Экстрасол	$1,6 \times 10^5$	$8,8 \times 10^4$	$1,7 \times 10^4$
	АФ+КС+ФС1	$4,3 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$3,6 \times 10^5$
	ФС2+КС	$1,7 \times 10^5$	$5,0 \times 10^4$	$1,1 \times 10^5$
	АФ+КС	$2,4 \times 10^5$	$1,9 \times 10^4$	$1,0 \times 10^5$
	АФ+ФС2	$2,5 \times 10^5$	$4,0 \times 10^4$	$1,7 \times 10^5$
Обработка по всходам	Экстрасол	$4,0 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$	$5,3 \times 10^4$
	АФ+КС+ФС1	$3,0 \times 10^5$	$6,7 \times 10^4$	$2,4 \times 10^5$
	ФС2+КС	$1,3 \times 10^5$	$1,4 \times 10^4$	$4,2 \times 10^5$
	АФ+КС	$3,4 \times 10^5$	$2,2 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$
	АФ+ФС2	$1,1 \times 10^5$	$6,3 \times 10^4$	$2,5 \times 10^5$

В почве контрольного варианта количество фосфатсольюбилизирующих микроорганизмов составило 20 тыс. КОЕ/г. Предпосевная обработка семян способствовала росту численности этой группы микроорганизмов в почвах всех опытных делянок, за исключением варианта АФ+КС, где численность фосфатсольюбилизаторов составила 19 тыс. КОЕ/г. Наибольшая численность микроорганизмов, способных переводить нерастворимые фосфаты в доступную для растений форму, выявлена в почве варианта АФ+КС+ФС1 – 230 тыс. КОЕ/г, что в 11,5 раз больше, чем в контроле. В почвах вариантов АФ+ФС2, ФС2+КС, «Экстрасол» численность данной микробной группы возросла в 2,0, 2,5 и 4,4 раза соответственно. В результате опрыскивания всходов ячменя положительное воздействие на фосфатсольюбилизирующие микроорганизмы обнаружено при обработке консорциумами АФ+ФС2, АФ+КС+ФС1: численность микроорганизмов выросла в 3,2–3,4 раза. Обработка всходов АФ+ФС2 дала увеличение числа микроорганизмов всего в 1,1 раза. Варианты с ФС2+КС и препаратом «Экстрасол» привели к снижению количества фосфатсольюбилизаторов в 1,4 и 2,2 раза соответственно (табл. 2).

Калийсольюбилизирующие микроорганизмы продемонстрировали наибольшее увеличение численности среди изучаемых микробных групп при использовании экспериментальных консорциумов бактерий. Численность этой микробной группы в почве контрольной делянки составила 36 тыс. КОЕ/г. При инокуляции семян экспериментальными консорциумами бактерий количество калийсольюбилизирующих микроорганизмов в почве варьировало от 100 тыс. (АФ+КС) до 360 тыс. КОЕ/г (АФ+КС+ФС1), что в 2,8–10,0 раз больше, чем в контроле. При обработке семян препаратом «Экстрасол» численность калийсольюбилизаторов оказалась ниже в 2,1 раза, чем в почве контрольной делянки (табл. 2).

Результаты исследований показали, что по сравнению с опрыскиванием всходов инокуляция семян перед посевом в большей степени способствует росту численности микроорганизмов. Увеличение количества азотфиксирующих, фосфат- и калийсольюбилизирующих микроорганизмов в почве опытных делянок может свидетельствовать о хорошей приживаемости инокулированных бактерий в ризосфере. В процессе освоения микрофлорой поверхности молодых растущих корешков характер взаимодействия различных микробных агентов имеет большое значение. Главенствующее положение в составе корневой микрофлоры могут занять виды, обладающие антагонистическими свойствами, что и определит течение микробной сукцессии [5].

Вне зависимости от варианта обработки наибольшее стимулирующее воздействие на развитие агрономически ценных групп микроорганизмов оказал консорциум АФ+КС+ФС1. Самое слабое влияние наблюдалось при обработке препаратом «Экстрасол».

Применение экспериментальных консорциумов бактерий положительно сказалось на урожайности ячменя: прибавка урожайности составила 0,1–0,4 т/га, кроме варианта АФ+ФС2, при обработке которым урожайность осталась на уровне контроля (табл. 3).

Урожайность зерна ярового ячменя в зависимости от применяемого консорциума бактерий

Вариант обработки	Препарат, консорциум бактерий	Урожайность, т/га	Прибавка	
			т/га	%
Контроль		3,7	–	–
Предпосевная обработка семян	Экстрасол	4,0	0,3	8,1
	АФ+КС+ФС1	4,1	0,4	10,8
	ФС2+КС	3,8	0,1	2,7
	АФ+КС	3,9	0,2	5,4
	АФ+ФС2	3,7	0	0
Обработка по всходам	Экстрасол	3,8	0,1	2,7
	АФ+КС+ФС1	4,1	0,4	10,8
	ФС2+КС	4,0	0,3	8,1
	АФ+КС	3,9	0,2	5,4
	АФ+ФС2	3,7	0	0

Применение консорциума АФ+КС+ФС1 было одинаково эффективно при обработке и по семенам, и по всходам и позволило получить увеличение урожайности зерна на 10,8 % по сравнению с контрольным вариантом. Обработка консорциумом АФ+ФС2, показавшим наибольшее увеличение содержания органического вещества в почве, не повлияла на урожайность ячменя. Следует учитывать, что органические вещества в составе корневых экссудатов растений выступают в качестве аттрактантов для микроорганизмов, которые, размножаясь за их счет, оказывают в свою очередь ответное воздействие на растительный организм [5].

Эффективность применения препаратов, содержащих живые бактериальные культуры, на примере злаковых растений показана в ряде исследований. При этом степень их воздействия на урожайность зависит от времени обработки, совместно применяемых удобрений, погодных-климатических условий и индивидуального характера взаимодействия растений и микроорганизмов [3–5, 9, 11, 19].

Выводы

Установлено, что применение консорциумов азотфиксирующих, фосфат- и калийсолюбилизующих бактерий оказывает положительное влияние на основные агрохимические показатели, определяющие плодородие почвы. В результате обработки бактериальными композициями наблюдалась тенденция к увеличению содержания в почве доступных форм азота, фосфора и особенно калия. Отмечено стимулирующее воздействие экспериментальных консорциумов на развитие агрономически ценных бактерий. В результате применения консорциумов бактерий для ярового ячменя была получена прибавка урожайности зерна до 10,8 % по сравнению с контролем. Эффективность использования бактериальных инокулятов зависит от характера межвидовых отношений микроорганизмов, входящих в состав консорциума, степени физиолого-биохимической комплементарности растений и инокулятов, а также времени проведения обработки. В целом предпосевная обработка семян оказалась эффективнее, чем обработка всходов. Установлено, что с целью улучшения свойств почвенной среды и повышения урожайности ячменя наиболее перспективно применение консорциума АФ+КС+ФС1, включающего штаммы азотфиксирующих, фосфат- и калийсолюбилизующих бактерий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв / ред. А.В. Соколов. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Александров В.Г. Силикатные бактерии. М.: Сельхозгиз, 1953. 112 с.
3. Алметов Н.С., Габдуллин В.Р., Алферов А.А. Применение биопрепарата «Азоризин» – надежный способ повышения продуктивности и качества урожая ячменя // Агротех. вестн. 2016. № 2. С. 44–47.
4. Бережная В.В., Клык А.Г., Сидоренко М.Л., Быковская А.Н., Богдан П.М. Влияние бактериальных комплексов на урожайность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) // Вестн. ДВО РАН. 2019. № 3. С. 103–111.
5. Возняковская Ю.М. Микрофлора растений и урожай. Л.: Колос, 1969. 240 с.
6. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. 258 с.
7. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2014. 351 с.
8. Завалин А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай. М.: ВНИИА, 2005. 302 с.
9. Зайкин А.И., Камалихин В.Е., Каргин В.И. Эффективность применения гуминовых и биопрепаратов в посевах ярового многорядного ячменя // Вестн. Ульянов. гос. сельхоз. акад. 2018. № 3 (43). С. 59–63.
10. Иутинская Г.А. Почвенная микробиология: учеб. пособие. Киев: Аристей, 2006. 284 с.
11. Кирпичников Н.А., Волков А.А. Влияние биопрепаратов на урожайность и качество ячменя и клевера в зависимости от применения фосфорных и известковых удобрений // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 8. С. 15–18.
12. Костин Я.В., Ушаков Р.Н., Крючков М.М., Виноградов Д.В., Фадькин Г.Н. Агрэкологическая эффективность биопрепарата «Экстрасол» при выращивании ячменя // Вестн. РГАУ. 2017. № 3 (35). С. 34–38.
13. Кузин Е.Н., Арефьев А.Н., Кузина Е.Е. Изменение плодородия почв. Пенза: РИО ПГСХА, 2013. 266 с.
14. Кузнецова Л.Н., Ширяев А.В., Кулишова И.В., Ширяева Н.В. Влияние внесения удобрений на биологические свойства почвы // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. № 2 (14). С. 71–76.
15. Лапа В.В. Плодородие почв и использование удобрений в Республике Беларусь // Плодородие. 2014. № 6. С. 19–20.
16. Никитишен В.И. Плодородие почвы и устойчивость функционирования агроэкосистемы. М.: Наука, 2002. 258 с.
17. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В.Г. Минеева. М.: МГУ, 2001. 689 с.
18. Соколова Т.А. Роль почвенной биоты в процессах выветривания минералов // Почвоведение. 2011. № 1. С. 64–81.
19. Старцева А.А., Фадькин Г.Н. Влияние микробиологических препаратов на формирование урожая ярового ячменя // Междунар. техн.-экон. журн. 2014. № 5. С. 81–87.
20. Субботин А.М., Нарушко М.В., Боме Н.А., Петров С.А., Мальчевский В.А., Габдуллин М.А. Влияние микроорганизмов из многолетнемерзлых пород на морфофизиологические показатели яровой пшеницы // Вавиловский журн. генетики и селекции. 2016. № 5. С. 666–672.
21. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельхоз. биология. 2011. № 3. С. 3–9.