

## ВЛИЯНИЕ МИКРОБНОГО КОНСОРЦИУМА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ В УСЛОВИЯХ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА

**Л. К. Асякина**<sup>1</sup>, доктор технических наук, заведующая лабораторией фиторемедиации техногенно нарушенных экосистем, [alk\\_kem@mail.ru](mailto:alk_kem@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-4988-8197;  
**О. А. Исачкова**<sup>2</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и агротехники полевых культур, [isachkova2410@mail.ru](mailto:isachkova2410@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-8912-7256;  
**Д. Е. Колпакова**<sup>1</sup>, младший научный сотрудник лаборатории фиторемедиации техногенно нарушенных экосистем, [kolpakova1205@mail.ru](mailto:kolpakova1205@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-8508-3372;  
**Е. Е. Бородина**<sup>1</sup>, младший научный сотрудник лаборатории фиторемедиации техногенно нарушенных экосистем, [kborodina1908@gmail.com](mailto:kborodina1908@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-6362-7589;  
**В. Ю. Богер**<sup>1</sup>, кандидат технических наук, заместитель директора по учебной работе, ORCID ID: 0000-0002-9280-6292;  
**А. Ю. Просеков**<sup>1</sup>, доктор технических наук, доктор биологических наук, [rector@kemsu.ru](mailto:rector@kemsu.ru), ORCID ID: 0000-0002-5630-3196

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»,  
650000, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6;

<sup>2</sup>Кемеровский НИИСХ – филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН,  
650510, Кемеровская область, Кемеровский район, пос. Новостройка, ул. Центральная, д. 47

Кемеровская область является регионом экстремального земледелия, в связи с чем нуждается в разработке эффективных биологических методов повышения продуктивности культурных растений, адаптированных к данным условиям. Целью настоящей работы являлся поиск стимулирующих рост растений микроорганизмов, ассоциированных с яровым ячменем, а также формирование на их основе микробного консорциума и проведение полевой апробации. В качестве объектов исследования выступали семена ярового ячменя, отобранные на территории Кемеровской области, выделенные из них ростостимулирующие микроорганизмы и консорциумы, составленные на их основе. В ходе исследования выделили 9 бактериальных изолятов, которые проверили на способность синтезировать ростостимулирующие вещества (кинетин и индолил-3-уксусную кислоту). Три штамма с лучшими показателями *SHv-2*, *SHv-5*, *SHv-6* отобрали для дальнейших исследований. Установлено, что штаммы способны фиксировать азот (*SHv-2* – 800 мкг/мл; *SHv-5* – 210 мкг/мл; *SHv-6* – 840 мкг/мл). Также наблюдалась способность к солюбилизации фосфатов (*SHv-2* – 2,53; *SHv-5* – 1,25; *SHv-6* – 3,33). Изучение культурально-морфологических и биохимических свойств позволило идентифицировать штаммы: *SHv-2* – *Pantoea allii*; *SHv-5* – *Raoultella ornithinolytica*; *SHv-6* – *Pantoea ananatis*. На основании данных микроорганизмов составлены различные варианты микробных консорциумов, которые также оценены на способность продуцировать ростостимулирующие вещества и фиксировать азот. Консорциум MC-7 состава *Pantoea allii*, *Raoultella ornithinolytica*, *Pantoea ananatis* в соотношении 1:1:3 соответственно проявлял максимальную активность по исследуемым параметрам. Полевые испытания данного консорциума показали, что он успешно повышает продуктивность ячменя ярового. Несмотря на аномальные погодные условия (отсутствие продуктивных дождей), наблюдалось усиление роста культур, обработанных консорциумом, в сравнении с контрольными вариантами. Установлены также наиболее перспективные варианты обработки ярового ячменя – вариант 3 и 4.

**Ключевые слова:** злаковые культуры, ячмень, бактериальные изоляты, фитогормоны, микробный консорциум.

**Для цитирования:** Асякина Л. К., Исачкова О. А., Колпакова Д. Е., Бородина Е. Е., Богер В. Ю., Просеков А. Ю. Влияние микробного консорциума на рост и развитие ярового ячменя в условиях Кемеровской области – Кузбасса // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 104–112. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-104-112.



## THE EFFECT OF A MICROBIAL CONSORTIUM ON SPRING BARLEY GROWTH AND DEVELOPMENT IN THE KEMEROVO REGION, KUZBASS

**L. K. Asyakina**<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, head of the laboratory for phytoremediation of technogenically disturbed ecosystems, [alk\\_kem@mail.ru](mailto:alk_kem@mail.ru), ORCID ID: 0000-0003-4988-8197;  
**O. A. Isachkova**<sup>2</sup>, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for breeding and agromachinery of field crops, [isachkova2410@mail.ru](mailto:isachkova2410@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-8912-7256;  
**D. E. Kolpakova**<sup>1</sup>, junior researcher of the laboratory for phytoremediation of technogenically disturbed ecosystems, [kolpakova1205@mail.ru](mailto:kolpakova1205@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-8508-3372;  
**E. E. Borodina**<sup>1</sup>, junior researcher of the laboratory for phytoremediation of technogenically disturbed ecosystems, [kborodina1908@gmail.com](mailto:kborodina1908@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-6362-7589  
**V. Yu. Boger**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, deputy director for academic affairs, ORCID ID: 0000-0002-9280-6292;

A. Yu. Prosekov<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Doctor of Biological Sciences, rector@kemsu.ru,

ORCID ID: 0000-0002-5630-3196

<sup>1</sup>FSBEI HE "Kemerovo State University",  
650000, Kemerovo, Krasnaya Str., 6

<sup>2</sup>Kemerovo RIA, branch of the Siberian federal research center of agrobiotechnologies of RAS,  
650510, Kemerovo region, Kemerovo district, v. of Novostroyka, Tsentralnaya Str., 47

The Kemerovo region is a region of extreme farming, and therefore requires the development of effective biological methods for improving productivity of cultivated plants adapted to these conditions. The purpose of the current work was to find plant growth-stimulating microorganisms associated with spring barley, as well as to form a microbial consortium on their basis and to conduct field trial. The objects of the study were spring barley seeds selected in the Kemerovo region, growth-stimulating microorganisms isolated from them, and consortia formed on their basis. During the study, there were isolated and tested 9 bacterial isolates for their ability to synthesize growth-stimulating substances (kinetin and indolyl-3-acetic acid). There were selected three strains with the best indicators *SHv-2*, *SHv-5*, *SHv-6* for further studies. There has been found that the strains are capable of fixing nitrogen (*SHv-2* – 800 µg/ml; *SHv-5* – 210 µg/ml; *SHv-6* – 840 µg/ml). There was also seen an ability to solubilize phosphates (*SHv-2* – 2.53; *SHv-5* – 1.25; *SHv-6* – 3.33). The study of cultural, morphological and biochemical properties made it possible to identify such strains as *SHv-2* – *Pantoea allii*; *SHv-5* – *Raoultella ornithinolytica*; *SHv-6* – *Pantoea ananatis*. Based on these microorganisms, there were made various variants of microbial consortia, which were also valued for their ability to produce growth-promoting substances and fix nitrogen. Consortium MC-7 composed with *Pantoea allii*, *Raoultella ornithinolytica*, *Pantoea ananatis* in a ratio of 1:1:3, respectively, showed maximum activity in terms of the studied parameters. Field trials of this consortium have shown that it successfully improves spring barley productivity. Despite abnormal weather conditions (lack of productive rains), there was an increase in the growth of crops treated by the consortium in comparison with control options. There have been established the most promising options for processing spring barley, options 3 and 4.

**Keywords:** cereals, barley, bacterial isolates, phytohormones, microbial consortium.

**Введение.** Для обеспечения устойчивого развития агроэкосистем в России и за рубежом важным этапом является разработка технологий повышения урожайности и качества выращиваемых культур, а также экологизация процессов возделывания. Достижение этих целей возможно с помощью использования потенциала растительно-микробных взаимодействий (Асякина и др., 2023), которые наиболее полно изучены для бобово-ризобияльного симбиоза. Однако в современной научной литературе встречается все больше данных о симбиотических стимулирующих рост микроорганизмах, ассоциированных с другими сельскохозяйственными культурами (Фасхутдинова и др., 2023).

Такие микроорганизмы колонизируют корневую систему растений, а также вырабатывают фитогормоны, улучшают азотное и фосфатное питание, способствуют повышению стрессоустойчивости растений и защищают их от развития инфекционных заболеваний. На основе ростостимулирующих микроорганизмов создаются различные коммерческие биопрепараты, которые используются в качестве стимуляторов роста, антистрессантов и биофунгицидов (Васильченко и др., 2021; Серазетдинова и др., 2023). Однако необходимо учитывать, что их эффективность зависит от множества факторов. Например, значительную роль играют климатические условия, тип почвы и использование других удобрений. В связи с этим перспективно использовать штаммы бактерий, соответствующие биологическим свойствам исследуемых видов и сортов растений, а также адаптированные к условиям региона (Илькин, 2022).

Разработка таких препаратов особенно актуальна для Кемеровской области – Кузбасса, так как данный регион относится к зоне рискованного земледелия со сложными почвенно-климатическими условиями. Несмотря

на агрессивные условия окружающей среды, регион стремится к самообеспечению сельскохозяйственной продукцией, в особенности зерновыми культурами (Видякин и Лебедь, 2023). Так, валовой сбор ячменя в регионе составил 295,7 тыс. т, что составляет 19,1% от общего объема зерновых и зернобобовых культур (Кемеровостат. Зерновые культуры Кузбасса: ячмень, 2021).

Целью настоящей работы являлся поиск стимулирующих рост растений микроорганизмов, ассоциированных с яровым ячменем, и создание микробного консорциума для повышения урожайности зерновой культуры.

**Материалы и методы исследований.** Объектом исследования являются бактерии, выделенные из семян ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L. *sensulato*), отобранного на территории Кемеровской области, а также консорциум на их основе.

**Выделение и характеристика бактериальных изолятов**

Перед этапом выделения микроорганизмов семена ярового ячменя подвергали поверхностной стерилизации: выдерживали 1 мин в 70%-м этаноле, промывали стерильной дистиллированной водой, затем на 3 мин погружали в 3%-й гипохлорид натрия и снова промывали стерильной дистиллированной водой. Для выделения микроорганизмов 1 г измельченных семян добавляли в 10 мл стерильного физиологического раствора, выдерживали в шейкер-инкубаторе LSI-3016A/LSI-3016R (Daihan Labtech, Южная Корея) в течение 2 ч при 28–30 °C, 120 об/мин.

Из полученной суспензии 5 мл переносили в колбу со 100 мл питательной среды, не содержащей источников азота, следующего состава, г/л: сахароза (Ленреактив, Россия) – 20,0; магний сернокислый (Химбаза, Россия) – 5,0; калий фосфорнокислый 2-замещенный

(Chem-ех, Россия) – 1,0; натрий молибденово-кислый (Ленреактив, Россия) – 0,005; натрий хлористый (Ленреактив, Россия) – 5,0; железо (II) сернокислое (Chem-ех, Россия) – 0,01; кальций углекислый (Ленреактив, Россия) – 2,0. Культивировали в шейкере-инкубаторе в течение 48 ч при 28–30 °С и 120 об/мин.

Далее осуществляли инкубирование полученной культуральной жидкости (КЖ) в условиях, описанных ранее, на питательной среде, содержащей труднорастворимое соединение фосфора. Для этого 5 мл культуральной жидкости вносили в 100 мл питательной среды следующего состава, г/л: глюкоза (Химреактивы, Россия) – 20,0; магний сернокислый – 0,1; железо (II) сернокислое – 0,01 г; марганец сернокислый (Ленреактив, Россия) – 0,01; натрий хлористый – 0,2; кальций фосфорнокислый (Ленреактив, Россия) – 5,0.

Для получения чистых культур использовали метод глубинного посева. Для этого 1 мл суспензии вносили в чашку Петри и заливали питательной средой ГМФ-агар (Ленреактив, Россия). Культивировали в термостате ТСО-1/80 СПУ (Смоленское СКТБ СПУ, Россия) при 28–30 °С в течение 48 ч. Далее использовали 5-кратный пересев истощающим штрихом на чашки Петри с ГМФ-агаром. Чистые культуры хранили на скошенном агаре.

Способность к продуцированию кинетина изучали по методике, описанной в работе T. Patel et al. (Patel et al., 2017). Для этого готовили суспензию исследуемых бактериальных изолятов в 3 мл стерильного физиологического раствора до коэффициента мутности 0,8–1,0 по МакФарланду (титр микроорганизмов  $1,5 \times 10^8$  КОЕ/мл) с помощью денситометра Densichek plus (Sendle, Россия). Далее 1 мл суспензии добавляли к 10 мл жидкой среды. Культивировали в течение 48 ч при температуре 28–30 °С и 120 об/мин. Отделение клеток от КЖ осуществляли центрифугированием при 8000 об/мин в течение 20 мин. Затем определяли оптическую плотность на спектрофотометре UV 1800 (Shimadzu, Япония) при длине волны 665 нм, в качестве раствора сравнения использовали питательную среду. Количество синтезируемого кинетина определяли по калибровочному графику стандартного раствора кинетина в пределах от 5 до 100 мкг/мл.

Способность к продуцированию индол-3-уксусной кислоты (ИУК) определяли по методике, описанной в ранее опубликован-

ной работе L.K. Asyakina с соавт. (Asyakina et al., 2023). Для этого 1 мл ранее полученной суспензии добавляли в 10 мл среды Луриа–Бертани в модификации Миллера (Биолайт, Россия). Культивирование микроорганизмов и отделение КЖ от клеток проводили в ранее описанных условиях.

**Способность к фиксации азота.** Для этого 1 мл ранее полученной суспензии добавляли в 10 мл среды, не содержащей азот. Состав среды аналогичен используемой при выделении. Полученную смесь культивировали в течение 4 суток при температуре 28–30 °С. Далее отделяли КЖ от клеток по методике, описанной ранее. Содержание азота в КЖ изучали с помощью анализатора азота Rapid N Cube (Elementar, Германия).

**Способность к солибилизации фосфора** определяли по методике, описанной в работе J. Kaur с соавт. (Kaur et al., 2022). Культивировали бактериальные изоляты в течение 96 ч при температуре 27–30 °С. Вокруг бактерий, способных трансформировать фосфаты, наблюдали зоны гало. Для количественного выражения результатов эксперимента измеряли размер колонии и зоны гало и рассчитывали индекс солибилизации по формуле:

$$ИС_{сф} = \frac{D_{к+а}}{D_{к}}$$

где  $ИС_{сф}$  – индекс солибилизации фосфатов;  $D_{к+а}$  – диаметр колонии с гало-зоной, см;  $D_{к}$  – диаметр колонии, см.

**Определение культурально-морфологических и биохимических признаков** осуществляли по методике, описанной в ранее опубликованной работе V.V. Atuchin et al. (Atuchin et al., 2023). Изоляты, для которых оценивали культурально-морфологические признаки, культивировали на агаризованной среде Луриа–Бертани в модификации Миллера в условиях, описанных в методике получения чистых культур.

#### **Составление и анализ характеристик микробных консорциумов**

Для составления консорциумов готовили суспензии бактериальных изолятов по методике, описанной в анализе на продукцию кинетина. Далее смешивали штаммы в соотношении, представленном в таблице 1. Затем 1 мл полученных консорциумов засеивали в определенной среде. Способность к продуцированию кинетина и ИУК, а также фиксировать азот проводили по методикам, указанным ранее.

**Таблица 1. Соотношение бактериальных изолятов в микробных консорциумах**  
**Table 1. Proportion of bacterial isolates in microbial consortia**

Номер консорциума	Соотношение изолятов		
	SHv-2	SHv-5	SHv-6
МС-1	1	1	1
МС-2	2	1	1
МС-3	1	2	1
МС-4	1	1	2
МС-5	3	1	1
МС-6	1	3	1
МС-7	1	1	3

Продолжение табл. 1

Номер консорциума	Соотношение изолятов		
	SHv-2	SHv-5	SHv-6
МС-8	1	2	3
МС-9	1	3	2
МС-10	2	1	3
МС-11	2	3	1
МС-12	3	1	2
МС-13	3	2	1

Примечание. Все исследования проводили в 5-кратной повторности.

### Полевое исследование микробного консорциума

Для проведения полевой апробации (однолетнего полевого опыта) готовили концентрированный микробный консорциум (не менее  $5 \times 10^{11}$  КОЕ/мл) и разбавляли дистиллированной водой в соотношении 1:1000 соответственно для получения рабочего раствора консорциума.

Исследования проводили на опытном поле Кемеровского НИИСХ – филиала СФНЦА РАН. Для посева использовали яровой ячмень Никита, разновидность нутанс. Сорт включен в Госреестр по Западно-Сибирскому региону и обладает следующими характеристиками: масса 1000 зерен 41–51 г; средняя урожай-

ность 2,77 т/га; максимальная урожайность 5,81 т/га. Сорт относится к среднеспелым, его вегетационный период составляет 72–89 дней. Яровой ячмень Никита среднеустойчив к полеганию, однако по засухоустойчивости уступает стандартам. Восприимчив к твердой головне, стеблевой ржавчине; сильно восприимчив к пыльной головне, гельминтоспориозу, мучнистой росе; карликовой ржавчиной поражается средне.

Посев зерновых культур проводили 24 мая 2023 г. вручную на делянках площадью 1 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная с нормой высева 5 млн всх.зерен/га. Опыт заложен с использованием микробного консорциума «МС-7» согласно схеме опыта, представленной в таблице 2.

Таблица 2. Схема проведения опыта  
Table 2. Scheme of the trial

Опыт	Описание
Контроль	Без обработки
Вариант 1	Обработка почвы непосредственно после посева рабочим раствором микробного консорциума с нормой 0,4 л/м <sup>2</sup>
Вариант 2	Обработка почвы непосредственно после посева рабочим раствором микробного консорциума с нормой 0,4 л/м <sup>2</sup> и внекорневая подкормка рабочим раствором микробного консорциума с нормой 0,4 л/м <sup>2</sup>
Вариант 3	Обработка почвы непосредственно после посева рабочим раствором микробного консорциума с нормой 0,8 л/м <sup>2</sup>
Вариант 4	Обработка почвы непосредственно после посева рабочим раствором микробного консорциума с нормой 0,8 л/м <sup>2</sup> и внекорневая подкормка рабочим раствором микробного консорциума с нормой 0,8 л/м <sup>2</sup>

Обработку почвы проводили непосредственно после посева, внекорневую подкормку осуществляли в фазу кущения культуры в соответствии с методикой, описанной Б.А. Доспеховом (2014). Уборку урожая провели вручную 21 сентября (Доспехов, 2014).

Определение выживаемости агробиологических характеристик ярового ячменя проводили в соответствии с методами, описанными в Методических указаниях Лоскутова с соавт. (Лоскутов и др., 2012).

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили по методике полевого опыта с помощью пакета прикладных программ «SNEDEKOR».

### Результаты и их обсуждение.

#### Выделение и характеристика бактериальных изолятов

В ходе исследования выделено 9 бактериальных изолятов из семян ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L. *sensulato*). Характеристика штаммов представлена в таблице 3.

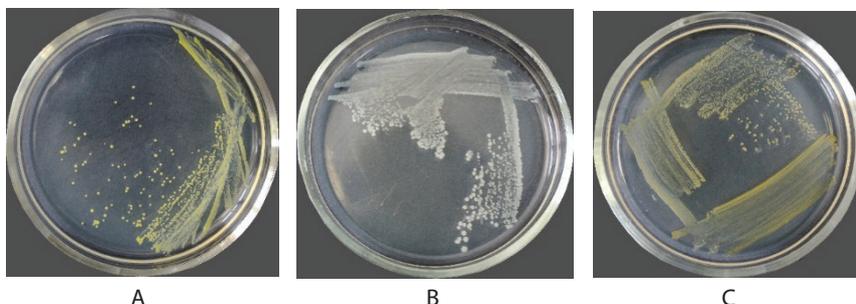
Таблица 3. Характеристика бактериальных изолятов  
Table 3. Characteristics of bacterial isolates

Номер изолята	Кинетин, мкг/мл	ИУК, мг/мл
SHv-1	3,46 ± 0,12	7,11 ± 0,16
SHv-2	9,35 ± 0,26	8,57 ± 0,28
SHv-3	3,20 ± 0,10	2,06 ± 0,09
SHv-4	5,59 ± 0,13	7,79 ± 0,20
SHv-5	7,85 ± 0,23	8,15 ± 0,26
SHv-6	12,34 ± 0,35	9,00 ± 0,23
SHv-7	4,65 ± 0,11	2,65 ± 0,04
SHv-8	3,60 ± 0,10	8,16 ± 0,22
SHv-9	7,15 ± 0,23	4,80 ± 0,12

Согласно полученным результатам продукция кинетина находилась в пределах от 3,20 до 12,34 мкг/мл питательной среды, а ИУК – 2,06–9,00 мг/мл. Наибольшую способность к синтезу ростостимулирующих веществ наблюдали у изолята *SHv-6* (кинетин – 12,34 мкг/мл; ИУК – 9,00 мг/мл). На основании полученных данных для дальнейших исследований отобрали три перспективных изолята. Для них исследовали способность к солиби-

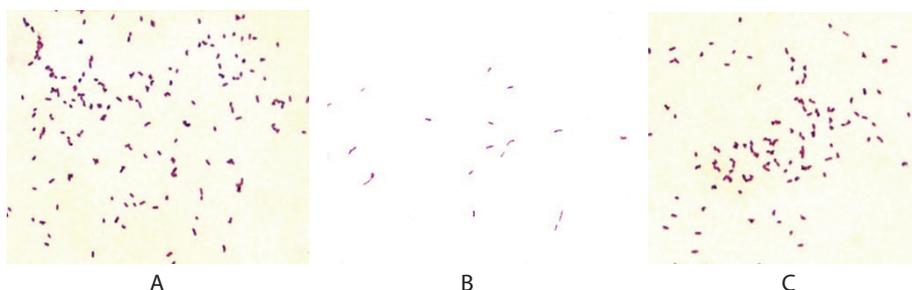
лизации фосфатов и фиксации азота. КЖ штамма *SHv-2* содержала 800 мкг/мл азота; штамма *SHv-5* – 210 мкг/мл; штамма *SHv-6* – 840 мкг/мл. Индекс солибилизации фосфатов у штамма *SHv-2* составил 2,53; штамма *SHv-5* – 1,25; штамма *SHv-6* – 3,33.

Для перспективных изолятов оценили также культурально-морфологические и биохимические признаки. Результаты представлены на рисунках 1 и 2, а также в таблице 4.



**Рис. 1.** Культуральные признаки бактериальных изолятов, где А – штамм *SHv-2*; В – штамм *SHv-5*; С – штамм *SHv-6*

**Fig. 1.** Cultural traits of bacterial isolates, where А – strain *SHv-2*; В – strain *SHv-5*; С – strain *SHv-6*



**Рис. 2.** Морфологические признаки бактериальных изолятов, где А – штамм *SHv-2*; В – штамм *SHv-5*; С – штамм *SHv-6*

**Fig. 2.** Morphological traits of bacterial isolates, where: А – strain *SHv-2*; В – strain *SHv-5*; С – strain *SHv-6*

Колонии штамма *SHv-2* желтого цвета, круглые, с ровными краями, глянцевые, клетки представляют собой грамтрицательные палочки. Колонии штамма *SHv-5* белого цвета, круглые, с ровными краями, масляные, клетки

представляют собой грамтрицательные палочки. Колонии штамма *SHv-6* желтого цвета, круглые, с ровными краями, масляные, клетки представляют собой грамтрицательные палочки.

**Таблица 4. Биохимические признаки бактериальных изолятов**  
**Table 4. Biochemical traits of bacterial isolates**

Штамм	Сахара, ферментируемые изолятом
<i>SHv-2</i>	L-pyrrolydonyl arylamidase, D-glucose, Fermentation/glucose, D-mannitol, D-mannose, D-sorbitol, Saccharose/sucrose, D-trehalose, Malonate, L-Lactate alkalisation, Phosphatase, Coumarate, Beta-galactosidase, Adonitol, 5-Keto-D-gluconate
<i>SHv-5</i>	Adonitol, D-cellobiose, Beta-galactosidase, D-glucose, Beta-glucosidase, D-mannitol, D-mannose, Beta-alanine arylamidase pNA, Beta-xylosidase, L-proline arylamidase, Palatinose, Urease, D-sorbitol, Sucrose/sucrose, D-trehalose, Malonate, 5-keto-D-gluconate, Alpha-galactosidase, Phosphatase
<i>SHv-6</i>	L-pyrrolydonyl arylamidase, D-glucose, Fermentation/glucose, Beta-glucosidase, D-mannitol, D-mannose, D-sorbitol, Saccharose/sucrose, D-trehalose, Malonate, L-Lactate alkalisation, Phosphatase, Coumarate

Изучение биохимических свойств позволило идентифицировать изоляты. Согласно полученным данным изолят *SHv-2* принадлежит

к виду *Pantoea allii*; изолят *SHv-5* – *Raoultella ornithinolytica*; изолят *SHv-6* – *Pantoea ananatis*. Достоверность результатов 99 %.

### Характеристика микробных консорциумов

В таблице 5 представлены характеристики выделенных штаммов.

По результатам проведенных исследований продукцией кинетина консорциумами варьировалась в пределах от 6,34 до 16,57 мкг/мл; ИУК – 5,28–12,50 мг/мл; содержание азота –

550–860 мкг/мл. По всем исследуемым показателям наилучшим оказался консорциум МС-7. В результате проведенных исследований для полевой апробации выбран консорциум МС-7 следующего состава: *Pantoea allii*, *Raoultella ornithinolytica*, *Pantoea ananatis* в соотношении 1:1:3 соответственно.

Таблица 5. Характеристики выделенных штаммов  
Table 5. Characteristics of the isolated strains

Консорциум	Кинетин, мкг/мл	ИУК, мг/мл	Содержание азота, мкг/мл
МС-1	8,46 ± 0,25	9,16 ± 0,28	650,00 ± 10,00
МС-2	8,75 ± 0,29	7,06 ± 0,19	590,00 ± 10,00
МС-3	6,89 ± 0,19	5,28 ± 0,16	550,00 ± 10,00
МС-4	9,46 ± 0,31	8,43 ± 0,23	710,00 ± 20,00
МС-5	7,26 ± 0,20	7,30 ± 0,21	660,00 ± 10,00
МС-6	6,34 ± 0,16	6,78 ± 0,20	410,00 ± 10,00
МС-7	16,57 ± 0,40	12,50 ± 0,38	860,00 ± 20,00
МС-8	10,26 ± 0,28	9,46 ± 0,25	810,00 ± 10,00
МС-9	8,61 ± 0,27	5,87 ± 0,12	660,00 ± 10,00
МС-10	9,96 ± 0,29	8,83 ± 0,26	780,00 ± 20,00
МС-11	7,89 ± 0,20	6,53 ± 0,18	650,00 ± 10,00
МС-12	9,37 ± 0,23	8,59 ± 0,26	590,00 ± 10,00
МС-13	8,42 ± 0,28	7,56 ± 0,22	760,00 ± 20,00

### Полевое исследование микробного консорциума

Условия вегетационного периода отмечены перепадами температуры воздуха и неравномерностью выпадения осадков. Весна в 2023 г. была затяжной, холодной и сухой. Оттаивание почвы шло замедленно. К концу апреля почва оттаяла на глубину 60 см. В результате большая часть зимних осадков ушла на сток. В мае на территории Кемеровского района наблюдалась неустойчивая, с резкими колебаниями температуры, усиленной ветровой деятельностью погода. Почва оттаяла на полную глубину 21 мая. Средняя за месяц температура воздуха составила 10,4 °С, что на 0,8 °С ниже нормы. Осадки выпадали лишь 1–3, 17 и 27 мая. Суммарное их количество не превысило 6 мм, что составляет 11 % от нормы. Сухая, с усиленной ветровой деятельностью, в отдельные периоды (21–24, 28–31 мая) с высокими дневными температурами погода второй половины мая привела к практически полному иссушению верхних слоев почвы, что крайне неблагоприятно сказалось на проведении ярового сева. С 1 по 9 июня установилась очень жаркая погода. Максимальная температура воздуха ежедневно составляла от 29 до 36 °С. Среднесуточная температура воздуха в этот период была выше климатической нормы на 7–12 °С. Единственный дождь (2 мм) наблюдался 8 июня, но положительного эффекта на посевы сельхозкультур не оказал. С 6 по 8 июня отмечались суховеи, которые значительно усилили почвенную и атмосферную засуху. Условия для роста и развития сельхозкультур складывались критические.

Июль характеризовался достаточным увлажнением, при этом большое количество осадков наблюдалось во 2-й и 3-й декадах. Сумма осадков за месяц составила 87 мм (112 % к норме). Средняя температура воздуха составила 20,4 °С, что на 1,1 °С больше средней многолетней. В августе средняя температура воздуха была на 1,3 °С выше нормы на фоне достаточного количества осадков (95 %). В сентябре установилась довольно теплая сухая погода: среднесуточная температура составила +1,7 °С к норме, осадков выпало 66 % от нормы.

Сложившиеся в период вегетации неблагоприятные погодные условия не позволили объективно оценить продолжительность фаз роста и развития растений сельскохозяйственных культур. Вследствие критических условий периода «посев–всходы» отмечено появление только единичных всходов. Прорастание основной массы зерен ярового ячменя наблюдалось только в первой декаде июля, когда прошли первые эффективные осадки, однако количество всходов составило менее 30 % от высеванных семян. Осадки второй половины вегетации спровоцировали появление большого количества вторичных побегов у растений, которые к моменту уборки (21 сентября) находились в фазе молочно-восковой спелости, а отдельные побеги – в фазе налива. Выживаемость растений к уборке составила 14,0–20,6 %.

Лучшие показатели выживаемости растений отмечены на вариантах 2 и 4 с дополнительной обработкой по вегетации, по количеству продуктивных стеблей – на вариантах 3 и 4 (табл. 6).

Таблица 6. Выживаемость ярового ячменя  
Table 6. Survival rate of spring barley

Опыт	Выживаемость растений к уборке, %	Количество растений, шт./м <sup>2</sup>	Число продуктивных стеблей, шт./м <sup>2</sup>
Контроль	14,0	70	39
Вариант 1	18,0	90	40
Вариант 2	18,6	93	62
Вариант 3	16,2	81	65
Вариант 4	20,6	103	65
НСР <sub>05</sub>	1,8	9,1	11,5

Примечание. НСР<sub>05</sub> – наименьшая существенная разность для 5 %-го уровня значимости.

Результатами исследований (табл. 7) выявлено преимущество при использовании повышенной дозы микробного консорциума (вариант 3 и вариант 4) по урожайности

и составляющим ее элементам. При этом более высокий урожай семян по опыту получен на варианте 4: +0,522 т/га к контролю (при НСР<sub>05</sub> = 0,173 т/га).

Таблица 7. Агробиологическая характеристика ярового ячменя  
Table 7. Agrobiological characteristics of spring barley

Опыт	Урожайность, т/га <sup>2</sup>	Продуктивная кустистость	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зерен, г
Контроль	0,209	0,56	13,1	41,0
Вариант 1	0,352	0,44	16,0	55,1
Вариант 2	0,579	0,67	17,1	54,9
Вариант 3	0,634	0,80	18,1	53,4
Вариант 4	0,731	0,63	19,7	57,1
НСР <sub>05</sub>	0,173	0,12	1,8	5,0

Лучший показатель урожайности ярового ячменя в варианте 4 был сформирован за счет более высокого числа зерен в колосе (+1,6...6,6 шт. к другим вариантам опыта) и массе 1000 зерен (+2,0...16,1 г к другим вариантам опыта). В варианте 3 урожайность составила +0,425 т/га к контролю (при НСР<sub>05</sub> = 0,173 т/га). Здесь также наблюдались повышенные значения структурных элементов урожайности. В результате сложившихся метеорологических условий в период вегетации зерновых культур снизились показатели урожайности в 7–10 раз от среднемноголетних показателей. Однако по сравнению с контролем можно сделать вывод о том, что микробный консорциум благоприятно влияет на рост и развитие ярового ячменя.

**Выводы.** Из семян ярового ячменя выделено 9 штаммов. При исследовании бактериальных изолятов на способность к продуцированию кинетина и ИУК выбрали три наиболее перспективных: SHv-6 – 12,34 мкг/мл и 9,00 мг/мл; SHv-2 – 9,35 мкг/мл и 8,57 мг/мл; SHv-5 – 7,82 мкг/мл и 8,15 мг/мл соответственно. На основе наиболее активных штаммов сконструировали консорциумы и исследовали их способность к продуцированию кинетина, ИУК, фиксации азота. Консорциум MC-7 (*Pantoea allii*, *Raoultella ornithinolytica*, *Pantoea ananatis* в соотношении 1:1:3) показал наилучшие резуль-

таты: 16,57 мкг/мл; 12,50 мг/мл и 860,00 мкг/мл соответственно. Данный консорциум использовали в полевом эксперименте в разных концентрациях и разной кратности обработок. Наилучшие результаты исследования агrobiологических характеристик показал вариант 4: урожайность – 73,12 г/м<sup>2</sup>; число зерен в колосе – 19,7 шт.; масса 1000 зерен – 57,1 г. Наивысшая выживаемость ярового ячменя также наблюдается при обработке вариантом 4. Таким образом, консорциум на основе *Pantoea allii*, *Raoultella ornithinolytica* и *Pantoea ananatis* обладает высокими перспективами для использования в сельском хозяйстве. Однако из-за неблагоприятных погодных условий урожайность составила менее 1 т/га, вследствие чего планируется проведение многолетней полевой апробации. В дальнейшем на его основе будет разработан коммерческий биопрепарат. Штаммы отправлены на депонирование во Всероссийскую коллекцию промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт».

**Финансирование.** Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Исследование потенциала ростостимулирующих бактерий для повышения агрономической биофортификации пшеницы» (шифр FZSR-2024-0009).

#### Библиографические ссылки

1. Асякина Л.К., Mudgal G., Тихонов С.Л., Ларичев Т.А., Фотина Н.В., Просеков А.Ю. Исследование потенциала естественной микробиоты яровой мягкой пшеницы в повышении урожайности // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 11. С. 12–17. DOI: 10.53859/02352451\_2023\_37\_11\_12

2. Васильченко С.А., Метлина Г.В., Лактионов Ю.В. Влияние применения биопрепаратов и микроэлементного удобрения Органомикс на урожайность зерна кукурузы на юге Ростовской области // Зерновое хозяйство России. 2021. № 5(77). С. 81–85. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-81-85
3. Видякин А.В., Лебедь В.А. Статистический прогноз развития зернового производства в Кемеровской области // Аграрная наука. 2023. Т. 9, С. 19–200. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-196-200
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Илькив, Н. Биологизация земледелия: преграды и перспективы // АгроФорум. 2022. № 1. С. 24–30.
6. Кемеровостат. Зерновые культуры Кузбасса: ячмень [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://clck.ru/36hodL> (дата обращения: 22.10.2023)
7. Лоскутов И.Г., Ковалева О.Н., Блинова Е.В. Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса. Изд. 4-е, доп. и перераб. – СПб.: ГНЦ РФ ВИР, 2012. – 63 с.
8. Серазетдинова Ю.Р., Фотина Н.В., Асякина Л.К., Милентьева И.С., Просеков А.Ю. Отбор бактериальных штаммов для борьбы с грибковыми заболеваниями *Triticum* spp [Электронный ресурс] // Хранение и переработка зерна. 2023. № 4. DOI: 10.36107/spfp.2023.4.515. Режим доступа: <https://www.spfp-mgupp.ru/jour/article/view/515> (дата обращения: 23.01.2024)
9. Фасхутдинова Е.Р., Голубцова Ю.В., Неверова О.А., Ларичев Т.А., Хорошкина Н.Н. Перспективы использования эндофитных и экстремофильных микроорганизмов в борьбе с фитопатогенами сельскохозяйственных культур (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023. Т. 24, № 5. С. 720–738. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.720-738
10. Asyakina L.K., Vorob'eva E.E., Proskuryakova L.A., Zharko M.Yu. Evaluating extremophilic microorganisms in industrial regions // Foods and Raw Materials. 2023. Vol. 11, № 1. P. 162–171. DOI: 10.21603/2308-4057-2023-1-556
11. Atuchin V.V., Asyakina L.K., Serazetdinova Y.R., Frolova A.S., Velichkovich N.S., Prosekov A.Y. Microorganisms for Bioremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals // Microorganisms. 2023. Vol. 11, № 3. Article number: 864. DOI: 10.3390/microorganisms11040864
12. Kaur J., Mudgal G., Chand K., Singh G. B., Perveen K., Bukhari N. A., Debnath S., Mohan T.C., Charukesi R., Singh G. An exopolysaccharide-producing novel *Agrobacterium* pusense strain JAS1 isolated from snake plant enhances plant growth and soil water retention // Scientific Reports volume. 2022. Vol. 12, № 1. Article number: 21330. DOI: 10.1038/s41598-022-25225-y
13. Patel T., Saraf M. Biosynthesis of phytohormones from novel rhizobacterial isolates and their *in vitro* plant growth-promoting efficacy // Journal of Plant Interactions. 2017. Vol. 12, № 1. С. 480–487. DOI: 10.1080/17429145.2017.1392625

## References

1. Asyakina L.K., Mudgal G., Tikhonov S.L., Larichev T.A., Fotina N.V., Prosekov A.Yu. Issledovanie potentsiala estestvennoi mikrobioty yarovoi myagkoi pshenitsy v povyshenii urozhainosti [Study of the potential of the natural microbiota of spring common wheat to improve productivity] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. Т. 37, № 11. С. 12–17. DOI: 10.53859/02352451\_2023\_37\_11\_12
2. Vasil'chenko S.A., Metlina G.V., Laktionov Yu.V. Vliyanie primeneniya biopreparatov i mikroelementnogo udobreniya Organomiks na urozhainost' zerna kukuruzy na yuge Rostovskoi oblasti [The effect of the use of biological products and microelement fertilizer 'Organomix' on maize productivity in the south of the Rostov region] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 5(77). С. 81–85. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-77-5-81-85
3. Vidyakin A.V., Lebed' V.A. Statisticheskii prognoz razvitiya zernovogo proizvodstva v Kemerovskoi oblasti [Statistical forecast for the development of grain production in the Kemerovo region] // Agrarnaya nauka. 2023. Т. 9. С. 19–200. DOI: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-196-200
4. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
5. Il'kiv N. Biologizatsiya zemledeliya: pregrady i perspektivy [Biologization of agriculture: barriers and prospects] // AgroForum. 2022. № 1. С. 24–30.
6. Кемеровостат. Zernovye kul'tury Kuzbassa: yachmen' [Kemerovostat. Grain crops of Kuzbass: barley] [Elektronnyi resurs]. 2021. URL: <https://clck.ru/36hodL> (data obrashcheniya: 22.10.2023)
7. Loskutov I.G., Kovaleva O.N., Blinova E.V. Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu i sokhraneniyu mirovoi kolleksii yachmenya i ovsa [Methodical recommendations for the study and preservation of the world collection of barley and oats]. Izd. 4-е, dop. i pererab. SPb.: GNTs RF VIR, 2012. – 63 s.
8. Serazetdinova Yu.R., Fotina N.V., Asyakina L.K., Milent'eva I.S., Prosekov A.Yu. Otkor bakterial'nykh shtammov dlya bor'by s gribokovymi zabolevaniyami *Triticum* spp [Selection of bacterial strains to combat fungal diseases *Triticum* spp. [E-resource]] [Elektronnyi resurs] // Khraneniye i pererabotka zerna. 2023. № 4. DOI: 10.36107/spfp.2023.4.515. Rezhim dostupa: <https://www.spfp-mgupp.ru/jour/article/view/515> (data obrashcheniya: 23.01.2024)
9. Faskhutdinova E.R., Golubtsova Yu.V., Neverova O.A., Larichev T.A., Khoroshkina N.N. Perspektivy ispol'zovaniya endofitnykh i ekstremofil'nykh mikroorganizmov v bor'be s fitopatogenami sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (obzor) [Prospects for the use of endophytic and extremophilic microorganisms in the fight against phytopathogens of agricultural crops (review)] // Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2023. Т. 24, № 5. С. 720–738. DOI: 10.30766/2072-9081.2023.24.5.720-738
10. Asyakina L.K., Vorob'eva E.E., Proskuryakova L.A., Zharko M.Yu. Evaluating extremophilic microorganisms in industrial regions // Foods and Raw Materials. 2023. Vol. 11, № 1. P. 162–171. DOI: 10.21603/2308-4057-2023-1-556

11. Atuchin V.V., Asyakina L.K., Serazetdinova Y.R., Frolova A.S., Velichkovich N.S., Prosekov A.Y. Microorganisms for Bioremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals // *Microorganisms*. 2023. Vol. 11, № 3. Article number: 864. DOI: 10.3390/microorganisms11040864
12. Kaur J., Mudgal G., Chand K., Singh G.B., Perveen K., Bukhari N.A., Debnath S., Mohan T.C., Charukesi R., Singh G. An exopolysaccharide-producing novel *Agrobacterium pusense* strain JAS1 isolated from snake plant enhances plant growth and soil water retention // *Scientific Reports* volume. 2022. Vol. 12, № 1. Article number: 21330. DOI: 10.1038/s41598-022-25225-y
13. Patel T., Saraf M. Biosynthesis of phytohormones from novel rhizobacterial isolates and their *in vitro* plant growth-promoting efficacy // *Journal of Plant Interactions*. 2017. Vol. 12, № 1. С. 480–487. DOI: 10.1080/17429145.2017.1392625

Поступила: 22.11.23; доработана после рецензирования: 30.01.24; принята к публикации: 30.01.24.

**Критерии авторства.** Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Авторский вклад.** Асякина Л.К. – подготовка рукописи; Исачкова О.А. – сбор, анализ данных полевого опыта и их интерпретация; Колпакова Д.Е. и Бородина Е.Е. – выполнение, анализ данных лабораторных опытов и их интерпретация; Богер В.Ю. – подготовка полевого опыта; Просеков А.Ю. – концептуализация исследований.

**Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**