

АГРОХИМИЯ И АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ

AGROCHEMISTRY
AND AGRICULTURAL SOIL SCIENCE

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-809

УДК 633.16:579.64



Научная статья

ПРАКТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО
БИОПРЕПАРАТА ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯЧМЕНЯ

*А.В. Платонов, И.И. Рассохина, Л.А. Ильина,
Е.А. Ёылдырым, Г.Ю. Лаптев*

Цель работы – изучение действия экспериментального микробиологического препарата «Натурост», созданного на основе штамма *Bacillus subtilis* №111, на рост и продуктивность ячменя в условиях Вологодской области.

Материалы и методы. Исследования проводились в течение вегетационных периодов 2019, 2020 и 2022 гг. на опытном поле ФГБУН «ВолНЦ РАН», а также в производственных условиях на полях СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» (Вологодская область). Препарат «Натурост» вносили дважды: замачиванием семян и опрыскиванием филлосферы растений в фазу кущения. Полногеномное секвенирование штамма бактерии *B. subtilis*-111 проводили на базе молекулярно-генетической лаборатории компании «Биотроф» на платформе MiSeq (Illumina, Inc.).

Результаты. При проведении полногеномного секвенирования штамма *B. subtilis*-111 установлено, что он имеет гены биосинтеза ауксинов, также в составе генома детектирован спектр различных защитных механизмов, способствующих выживанию штамма в природной среде. Кроме того, геном штамма содержит массив групп генов, которые отвечают за производство бактериоцинов с выраженной антимикробной активностью. Обработка растений ячменя экспериментальным препаратом «Натурост», способствовала увеличению ростовых параметров культуры: сухая масса возрастала до 33%,

среднесуточные приросты – до 48%, что происходило на фоне увеличения содержания фотосинтетических пигментов. Зерновая продуктивность в условиях мелкоделяночных опытов в вариантах с препаратом возросла на 7-19%, а в условиях реального хозяйствования – на 14% относительно контроля.

Заключение. Экспериментальный препарат, созданный на основе *B. subtilis*-111, оказал стимулирующее влияние на рост и продуктивность ячменя обыкновенного сорта Сонет в условиях Вологодской области.

Ключевые слова: *Bacillus subtilis*; полногеномное секвенирование; рост; зерновая продуктивность; фотосинтетические пигменты

Для цитирования. Платонов А.В., Рассохина И.И., Ильина Л.А., Йылдырым Е.А., Лаптев Г.Ю. Практическое обоснование возможности использования экспериментального биопрепарата при выращивании ячменя // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Т. 16, №2. С. 271-291. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-809

Original article

SUBSTANTIATION OF THE POSSIBILITY OF USING AN EXPERIMENTAL BIOLOGICAL PREPARATION IN BARLEY CULTIVATION

*A.V. Platonov, I.I. Rassokhina, L.A. Ilina,
E.A. Yildirim, G.Yu. Laptev*

Purpose. To study the effect of the experimental microbiological preparation “Naturost”, created on the basis of *Bacillus subtilis* No. 111, on the growth and productivity of barley in the Vologda region.

Materials and methods. The research was carried out during the growing seasons of 2019, 2020 and 2022 at the experimental field of RAS Vologda Research Center and under production conditions in the fields of the agricultural production cooperative (collective farm) “Plemzavod Prigorodnyi” (Vologda region). The preparation “Naturost” was introduced twice: while soaking the seeds and spraying the phyllosphere of the plants in the tillering phase. Whole-genome sequencing of the strain of the bacterium *B. subtilis*-111 was carried out at the molecular genetic laboratory of “Biotrof” company with the use of MiSeq platform (Illumina, Inc.)

Results. During the whole-genome sequencing of *B. subtilis*-111 strains, it was found that it has auxin biosynthesis genes; a range of various protective mechanisms contributing to the survival of the strain in the natural environment was also detected

in the genome. In addition, the genome of the strain contains an array of groups of genes that are responsible for the production of bacteriocins with pronounced antimicrobial activity. The treatment of barley plants with the experimental preparation "Naturost" contributed to an increase in the growth parameters of the crop: dry mass increased to 33%, average daily increments – up to 48%, which occurred against the background of an increase in the content of photosynthetic pigments. Grain productivity in the conditions of small-scale experiments with the use of the preparation increased by 7–19%, and in the actual field conditions – by 14% relative to the control.

Conclusion. The experimental preparation based on *B. subtilis*-111 had a stimulating effect on the growth and productivity of barley of the breed Sonet in the Vologda region.

Keywords: *Bacillus subtilis*; whole-genome sequencing; growth; grain productivity; photosynthetic pigments

For citation. Platonov A.V., Rassokhina I.I., Ilina L.A., Yildirim E.A., Laptev G.Yu. Substantiation of the Possibility of using an Experimental Biological Preparation in Barley Cultivation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 2, pp. 271–291. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-2-809

Введение

Ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.) является одной из важных зерновых культур, возделываемых на территории Вологодской области, доля его посевов среди остальных зерновых растений доходит до 80 % [6]. Ячмень, заготавливаемый в области, прежде всего используется для кормления крупного рогатого скота. Зерно ячменя – отличный концентрированный корм (в одном килограмме зерна содержится 1,2 кормовых единиц). Также кормовые достоинства зерна ячменя связаны с довольно высоким содержанием белка (12–15%, в т.ч. содержание переваримого протеина до 8,6%), сахаров (до 40%) и жира (до 4%) [7]. Кроме того, ячмень является относительно неприхотливой культурой, что позволяет его успешно возделывать в Нечерноземной зоне России с ее изменчивыми погодными условиями.

Однако, продуктивность зерновых культур в Вологодской области не достигает своих генетически запрограммированных максимумов [5]. Одним из перспективных и безопасных путей повышения продуктивности зерновых культур является внесение полезных микроорганизмов. При этом широко используемым на мировом рынке биопестицидов является род *Bacillus*, представители которого часто рассматриваются как микробные фабрики, производящие биологически активные молекулы с широким спектром применения [19]. На данный момент вид *Bacillus subtilis* считается одним из самых изученных и безопасных представителей рода

бацилл. Это подтверждается Управлением по контролю качества продовольственных и лекарственных средств США (FDA), присвоившего виду статус GRAS (generally regarded as safe – «общепризнанно как безопасное»). Так, например, штаммы этого вида широко используется в качестве пробиотиков в России, странах Европы и США.

B. subtilis способен стимулировать рост растений, а также контролировать патогены растений с помощью различных механизмов, включая улучшение доступности питательных веществ и изменение содержания фитогормонов, а также выработку противомикробных препаратов и запуск индуцированной системной резистентности, соответственно [11]. *B. subtilis* также может растворять фосфор в почве, усиливать фиксацию азота и продуцировать сидерофоры, которые способствуют его росту и подавляют рост патогенов. *B. subtilis* повышает стрессоустойчивость растений-хозяев, индуцируя экспрессию генов реакции на стресс, фитогормонов и связанных со стрессом метаболитов [12].

В работах отечественных авторов неоднократно показано, что препараты, созданные на основе бактерий рода *Bacillus*, повышают устойчивость и продуктивность различных сельскохозяйственных культур [2, 8, 17].

Несмотря на то, что положительный эффект действия *B. subtilis* на рост и устойчивость сельскохозяйственных растений весьма широко доказан в лабораторных условиях, успех его применения в полевых условиях не однозначен. Показано, что сельскохозяйственное применение *B. subtilis* иногда терпит неудачу, потому что бактерии не всегда сохраняются в ризосфере [11]. В то же время, известно, что спорообразующие бациллы, вида *B. subtilis*, имеют в своем цикле развития покоящиеся структуры (споры), способствующие их длительному выживанию в неблагоприятных условиях. Споры делают клетку абсолютно защищенной от повреждений и позволяют микроорганизмам с успехом переносить высушивание и другие стресс-факторы, которые могут возникать при выращивании растений [12].

Цель работы – изучить действие экспериментального микробиологического препарата «Натурост» на рост и продуктивность ячменя обыкновенного сорта Сонет в условиях Вологодской области.

Материалы и методы

Исследования по изучению действия экспериментального препарата «Натурост», проводились на опытном поле ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», а также в производственных условиях на полях СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» (Вологодская

область). Биопрепарат «Натурост», в основе которого лежат живые бактерии *Bacillus subtilis* штамм №111, создан компанией ООО «Биотроф» (г. Санкт-Петербург). Бактерии культивировали на питательной среде, которая включала в себя свекловичную мелассу (2%) и минеральные соли, источником азота служил нитрат натрия. В 1 мл препарата содержание живых бактерий исходного штамма составляло не менее 1×10^8 КОЕ. В качестве культуры использовали яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта Сонет, который является одной из основных зерновых культур региона.

Полногеномное секвенирование штамма бактерии *B. subtilis*-111 препарата «Натурост» проводили на базе молекулярно-генетической лаборатории компании «Биотроф». ДНК выделяли по стандартным методикам с использованием набора Genomic DNA Purification Kit («Thermo Fisher Scientific, Inc.», США). Библиотеку ДНК для полногеномного секвенирования готовили с помощью набора Nextera XT («Illumina, Inc.», США). Нуклеотидные последовательности определяли с использованием прибора MiSeq («Illumina, Inc.», США). Кроме того, методом газожидкостной хромато-масспектрометрии (GCMS-QP2010 Plus, Япония) с использованием капиллярной колонкой Ultra-2 (25 м × 0,25 мм) проводили оценку содержания различных биологически активных вещества, обладающих антимикробными свойствами в культуральной жидкости штамма бактерии *B. subtilis*-111.

Продолжительность мелкоделяночных полевых опытов составила три вегетационных периода: 2019, 2020 и 2022 гг. Производственный эксперимент был поставлен в 2022 году. Погодные условия вегетационных периодов 2019, 2020 и 2022 гг. отличались по температурному режиму и по количеству осадков (таблица 1).

Таблица 1.

Погодные условия вегетационного периода в окрестностях г. Вологды (по данным портала «Погода и климат», <http://www.pogodaiklimat.ru>)

Показатель	Норма*	2019	2020	2022
Среднемесячная температура мая, °С	11,0	12,0	9,0	8,0
Количество осадков в мае, мм	41,4	32,0	137,0	65,0
Среднемесячная температура июня, °С	14,5	16,1	16,0	16,0
Количество осадков в июне, мм	59,6	51,0	61,0	61,0
Среднемесячная температура июля, °С	17,9	14,1	17,0	19,2
Количество осадков в июле, мм	66,3	159,0	142,0	81,0
Среднемесячная температура августа, °С	15,2	12,1	14,1	19,3
Количество осадков в августе, мм	70,5	92,0	71,0	27,0

* Норма рассчитывалась как среднее значение за 2000-2018 гг.

** Отношение количества осадков к среднемесячной температуре

Начало вегетационного периода 2019 года можно охарактеризовать как сухое теплое, середину – умеренно влажная теплая, конец – прохладный и сырой. В 2020 году вегетационный период, в целом, выдался сырым и умеренно теплым, а в 2022 году – умеренно влажный и жаркий с довольно холодным маем.

В мелкоделяночных полевых опытах учетная площадь опыта составила 2 м², повторность – 6-ти кратная. Посев ячменя происходил в соответствии с принятыми нормами высева – 5 млн. всхожих семян на гектар. Перед посевом семена опытной группы замачивали в рабочий раствор экспериментального препарата «Натурост» (1 мл препарата на 1 литр воды), семена контрольной группы – в воде. В фазу кущения, после снятия первых промеров, проводили опрыскивание филлосферы растений рабочим раствором. Уход за культурами происходил в соответствии с общепринятыми агротехническими приемами, минеральные удобрения и гербициды не вносились. В течении вегетации, в фазах кущения и трубкования, проводили учет сырой и сухой массы опытных и контрольных растений, количество побегов и листьев. В фазах кущения, трубкования и колошения спектрофотометрическим методом оценивали содержание фотосинтетических пигментов, которые извлекали с помощью 85%-ого ацетона. В фазу восковой спелости отбирался сноповый материал для оценки структуры урожая ячменя: при этом подсчитывали продуктивную кустистость, количество зерновок в колосе, массу 1000 зерновок, а также оценивали зерновую урожайность культуры на каждой делянке.

В производственном опыте на поле СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» общая площадь посевов составила около 40 га, внесение бактерий осуществлялось путем инокуляции семян перед посевом в рабочем растворе препарата (1 мл препарата на 1 литр воды), повторная обработка биопрепаратом осуществлялась в фазу кущения, путем опрыскивания вегетирующих растений с нормой расхода рабочего раствора 200 л/га, рабочий раствор готовился из расчета 1 л препарата на 1 гектар. В течение эксперимента, в фазах кущения, выхода в трубку и колошения проводили учет высоты опытных и контрольных растений, их сырой и сухой биомассы. По окончании вегетации оценивали зерновую продуктивность.

Статистическую обработку данных осуществляли по стандартным методикам с использованием пакета анализа данных программы MS Excel'2010. В таблицах представлены арифметические значения показателей и величины их стандартных ошибок. Оценку достоверности различия выборочных средних проводили при значении доверительной вероятности 0,95.

Результаты и обсуждение

Экспериментальный препарат «Натурост» создан на основе *B. subtilis*-111. Производителем отмечено, что он обладает антифунгицидным и антибактериальным эффектом, а также способствует ускорению развития вегетативных частей растений и повышает устойчивость зерновых культур к полеганию.

Морфологические показатели растений обусловлены скоростью протекания их физиологических процессов. Многие исследователи в своих работах показывают различные механизмы действия микробиологических препаратов на рост и развитие растений, к которым относятся синтез и сложное взаимодействие фитогормонов [1, 13, 15], мобилизация веществ [10], угнетение патогенов за счет синтеза антибиотиков, токсинов и поверхностно-активных веществ, а также формирование конкуренции за питательные вещества и места колонизации патогенных бактерий [2, 3, 18].

С применением метода полногеномного секвенирования штамма бактерии *B. subtilis*-111 препарата «Натурост» были подробно описаны свойства данного штамма, обеспечивающие его положительное воздействие на рост, развитие растений и их защиту от патогенов (рис. 1).

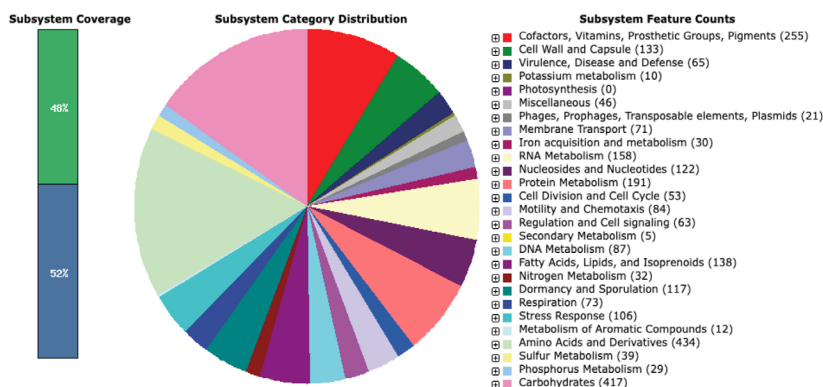


Рис. 1. Результаты полногеномного секвенирования штамма бактерии *B. subtilis*-111 препарата «Натурост» на платформе MiSeq (Illumina, Inc.)

Прежде всего установлено, что штамм бактерии *B. subtilis*-111, входящий в препарат «Натурост» имеет в геноме (в категории Secondary Metabolism, подкатегории Auxin biosynthesis) гены биосинтеза ауксинов – гормонов роста растений (фитогормонов), в т.ч. важнейшего предшественника ауксинов – триптофана.

Известно, что биосинтез ауксинов бактериями является одним из наиболее важных механизмов стимуляции роста и развития растений [21]. Индолил-3-уксусная кислота (ИУК), является наиболее распространенным ауксином, предшественником образования которой является триптофан, выявленный в метаболических путях штамма препарата «Натурост». Ранее было показано, что к бактериям PGPB (Plant Growth-Promoting Bacteria), стимулирующим рост растений, помимо *Bacillus subtilis*, относят также такие виды, как *Azotobacter chroococcum*, *Pseudomonas fluorescens*, родов *Serratia* и пр. [14, 16].

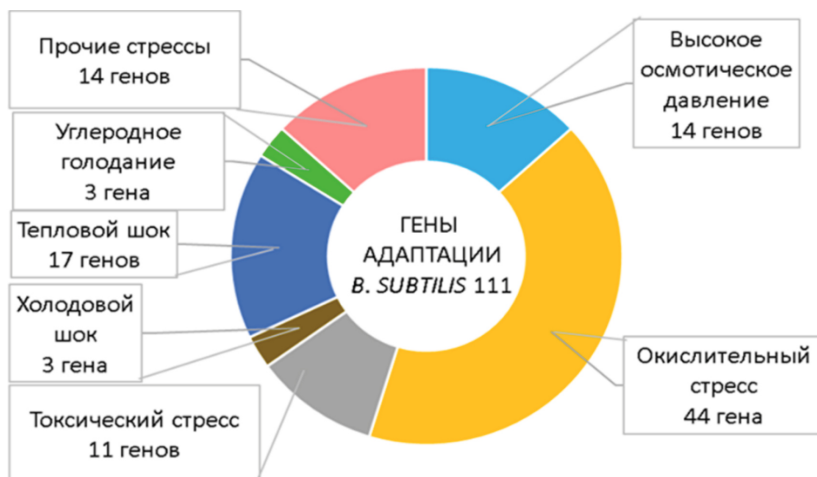


Рис. 2. Гены адаптации к стрессам у *B. subtilis*-111

Помимо этого, в составе генома при проведении полногеномного секвенирования штамма *B. subtilis*-111 препарата «Натурост» был детектирован спектр различных защитных механизмов, способствующих выживанию в природной среде, в т.ч. ризосфере растений. Показано, что значительная часть генома приходится на долю генов, связанных с повышенной устойчивостью к неблагоприятным факторам внешней среды. Расшифровка генома с использованием базы данных RAST продемонстрировала присутствие в геноме штамма 106 генов (рис. 2), отвечающих за адаптацию к неблагоприятным внешним воздействиям, включающим повышенный окислительный и токсический стресс, тепловой и холодовой шок, осмотическое давление, снижение питательных веществ. Очевидно, что в наличие указанных метаболических путей у исследуемого штамма

приводит не только к высокой его сохранности и выживаемости, но и к активности в ризосфере растений.

При проведении полногеномного секвенирования оказалось, что геном штамма *B. subtilis*-111 также содержит массив групп генов, которые отвечают за производство бактериоцинов с выраженной антимикробной активностью. Широкий спектр антибактериального действия (в отношении бактериоидов, клостридий, энтеробактерий, фузобактерий) объясняется синтезом бактериоцинов диффицидина, бициллина, макролактоина, бацилизина, бациллибактина. Активность штамма в отношении плесневых грибов – продуцентов микотоксинов – обусловлена, главным образом, синтезом вещества фенгицина. Известно, что развитие аэробных микроорганизмов, прежде всего дрожжей и плесневых токсинопродуцирующих грибов, снижает продуктивность и питательные свойства растений [20]. Интересно, что полученные результаты были подтверждены методом газожидкостной хромато-масс-спектрометрии (ГЖХ-МС). Было подтверждено, что экстракт культуральной жидкости штамма бактерии *B. subtilis*-111 содержит 62 различных биологически активных вещества, обладающих антимикробными свойствами. Таким образом штамм бактерии *B. subtilis*-111 обладает определенным биотехнологическим потенциалом для использования в практике растениеводства и дальнейшие исследования его действия на ростовые и продуктивные качества культур целесообразны.

На основании полученных трёхлетних результатов исследования, можно отметить, что обработка растений ячменя сорта Сонет экспериментальным препаратом «Натурост», в целом, способствовала увеличению ростовых параметров культуры (таблица 2). Например, в 2019 и 2022 гг. наблюдалось ощутимое превосходство относительно контроля в фазу кушения сырой и сухой массы на 26-37% и 29-30%, в фазу трубкавания – на 55-68% и 30-33% соответственно. В 2020 году масса опытных растений в фазу кушения существенно не отличалась от контроля, а в фазу трубкавания превосходила контроль на 7%. Вероятно, чрезмерно сырые условия мая, когда проводились посевные работы, негативно сказались на жизнедеятельности бактерий.

Основной функцией хлорофилла является его участие в фотохимическом синтезе органического вещества, в ряде работ имеются данные что продуктивность фотосинтеза коррелирует с содержанием и соотношением фотосинтетических пигментов [9]. В нашем случае содержание фотосинтетических пигментов в листьях ячменя в ходе онтогенеза закономерно увеличивалось (таблица 3). При этом использование экспериментального препарата привело к большим значениям содержания пигментов.

Таблица 2.

Морфометрические параметры *H. vulgare* L.

Показатель	2019		2020		2022	
	Контроль	Натурост	Контроль	Натурост	Контроль	Натурост
<i>фаза кущения</i>						
Количество листьев, шт.	5,1±0,1	6,5±0,2*	5,6±0,2	5,2±0,2	7,4±0,2	6,4±0,3
Масса сырая одного растения, г	0,81±0,04	1,11±0,08*	0,52±0,03	0,52±0,06	0,91±0,08	1,15±0,12
Масса сухая одного растения, г	0,178±0,012	0,230±0,014*	0,113±0,006	0,117±0,007	0,200±0,020	0,260±0,013
<i>фаза трубкования</i>						
Кустистость, шт.	4,0±0,4	5,8±0,5	1,5±0,2	1,8±0,4	1,5±0,5	1,5±0,5
Количество листьев, шт.	12,1±1,1	19,2±1,2*	8,0±0,5	8,7±1,3	7,7±0,1	8,1±0,1
Масса сырая одного растения, г	3,56±0,23	5,51±0,30*	3,70±0,22	3,95±0,19	2,54±0,10	3,37±0,20
Масса сухая одного растения, г	0,964±0,045	1,669±0,072*	0,825±0,046	0,883±0,046	0,634±0,038	0,906±0,083

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P < 0,05$.

Так в 2019 году в фазе кущения концентрация хлорофилла *a* в листьях опытных растений выше по сравнению с контролем на 5%, хлорофилла *b* – на 16%, суммы хлорофиллов (*a+b*) – на 10%, каротиноидов – на 9%. В фазу трубкования в листьях растений опытных вариантов содержание хлорофиллов по-прежнему больше контроля (на 6-9%), а содержание каротиноидов на уровне контроля. В фазу колошения содержание фотосинтетических пигментов опытных растений превосходило контроль на 3-13%.

Подтверждением ростостимулирующего действия *B. subtilis*-111 является и наблюдаемое увеличение среднесуточных приростов (таблица 4). Например, между фазами третьего листа и кущения в опыте 2022 сырая масса опытных растений увеличивалась интенсивнее контроля на 15%, сухая – на 22%. За период между фазами кущения и трубкования прирост по сырой и сухой массе опытных вариантов относительно контроля был ощутимее, разница составила 43-48%.

Таблица 3.

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *H. vulgare L.*

Показатель	Фаза развития растения	Контроль	Натурост
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сыр. массы	фаза кущения	0,613±0,027	0,641±0,037
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сыр. массы		0,193±0,011	0,224±0,012*
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг/г сух. массы		0,805±0,045	0,885±0,072
Каротиноиды, мг/г сыр. массы		0,367±0,037	0,381±0,038
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сыр. массы	фаза трубкования	0,750±0,025	0,819±0,007*
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сыр. массы		0,284±0,066	0,297±0,008
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг/г сыр. массы		1,056±0,107	1,124±0,014*
Каротиноиды, мг/г сыр. массы		0,562±0,099	0,545±0,028
Хлорофилл <i>a</i> , мг/г сыр. массы	фаза колошения	1,204±0,037	1,360±0,047*
Хлорофилл <i>b</i> , мг/г сыр. массы		0,410±0,018	0,424±0,021
Сумма хлорофиллов <i>a</i> и <i>b</i> , мг/г сыр. массы		1,622±0,075	1,781±0,068*
Каротиноиды, мг/г сыр. массы		0,766±0,015	0,822±0,024

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P < 0,05$.

Таблица 4.

Среднесуточные приросты *H. vulgare L.*

Среднесуточный прирост, мг/сут.	Временной интервал	Контроль	Натурост
Сырой массы	фаза третьего лист – фаза кущения	149,5±16,7	172,2±20,6
Сухой массы		184,5±19,6	224,5±25,8
Сырой массы	фаза кущения – фаза трубкования	120,9±13,0	173,3±28,7*
Сухой массы		154,6±15,6	228,9±36,2*

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P < 0,05$.

Любые изменения физиологических процессов растений, в том числе и на ранних этапах онтогенеза (кущение, выход в трубку), сказываются и на зерновой продуктивности [4, 22], что наблюдается и в нашем эксперименте. Исходя из данных таблицы 5, в конце вегетации 2019 года опытные растения относительно контрольных имели больше продуктивных побегов (на 8%), массу отдельной зерновки (на 5%), что в конечном счете привело к увеличению зерновой урожайности на 13%. В 2020 год при действии экс-

периментального препарата «Натурост» также наблюдалось увеличение количества продуктивных побегов (на 10%), и некоторое увеличение массы зерновки, в итоге зерновая урожайность превосходила контроль на 7%. В 2022 году различия по зерновой урожайности опытных и контрольных растений были максимальными, и достигли 19%, при этом зерновая продуктивность растений увеличивалась как за счет некоторого возрастания продуктивной кустистости, так и массы зерновки (на 11%).

Таблица 5.

Хозяйственная продуктивность *H. vulgare* L.

Показатель	2019		2020		2022	
	Контроль	Натурост	Контроль	Натурост	Контроль	Натурост
Продуктивная кустистость, шт.	3,9±0,2	4,2±0,1	1,1±0,1	1,2±0,1	1,1±0,1	1,2±0,1
Количество зерновок в колосе, шт.	14,0±0,3	14,3±0,3	17,5±3,2	17,7±2,7	15,5±1,5	17,5±1,3
Масса 1000 зерновок, г	40,7±0,84	42,6±0,90	51,4±1,28	52,8±0,14	44,2±1,30	49,2±1,28*
Масса зерна с м ² , г	278,1±14,0	315,2±18,3*	209,0±6,0	224,0±7,1*	180,0±5,8	213,0±4,4*

Примечание: * – разница по сравнению с контролем статистически достоверна при $P < 0,05$.

Учитывая ощутимое стабильное ростстимулирующее действия экспериментального препарата «Натурост» на ячмень сорта Сонет в условиях мелколдяночных полевых опытов, в 2022 году был поставлен производственный эксперимент (таблица 6).

Независимо от фазы развития ячменя наблюдалось увеличение высоты опытных растений относительно контроля на 14-26%. Данный показатель может косвенно указывать на большую потенциальную ассимиляционную поверхность и, тем самым, на энергообеспеченность опытных растений. Что подтверждают и результаты по накоплению вещества: в фазу кушения сырая и сухая масса в вариантах с внесением препарата «Натурост» возрастала на 35-46%, в фазу трубкования – на 14-16%, в фазу колосения – на 35-40%.

В производственном опыте зерновая продуктивность ячменя сорта Сонет при внесении биопрепарата «Натурост» возросла на 14% (рис. 3). Зерновая продуктивность увеличивалась как за счет некоторого возрастания продуктивной кустистости, так и массы зерновки (на 8%), при этом озеренность колоса в контроле и опыте оставалась на одном уровне.

Таблица 6.

Результаты оценки ростовых параметров *H. vulgare* L. в производственном опыте на полях СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» в 2022 году

Вариант	Кустистость, шт.	Высота, см	Сырая масса 1 растения, г	Сухая масса 1 растения, г
<i>фаза кущения</i>				
Контроль	2,1±0,1	22,6±2,7	2,50±0,33	0,41±0,05
Натурост	2,3±0,1	28,5±3,0*	3,64±0,48*	0,56±0,07
% относительно контроля	110	126	146	135
HCP ₀₅		4,26	0,831	0,113
<i>фаза трубкования</i>				
Контроль	2,8±0,2	45,5±2,6	5,62±0,49	1,29±0,12
Натурост	3,0±0,2	53,8±3,0*	6,47±0,51	1,50±0,16
% относительно контроля	107	118	115	116
HCP ₀₅		5,62	1,623	0,434
<i>фаза колошения</i>				
Контроль	2,1±0,1**	58,2±,3	5,77 ± 0,47	1,68 ± 0,15
Натурост	2,2±0,1**	66,4±3,5*	8,06±0,49*	2,27±0,17*
% относительно контроля	105	114	140	135
HCP ₀₅		6,17	1,082	0,493

Примечание: * – Разница с контролем статистически достоверна при $P < 0,5$; ** – продуктивная кустистость.

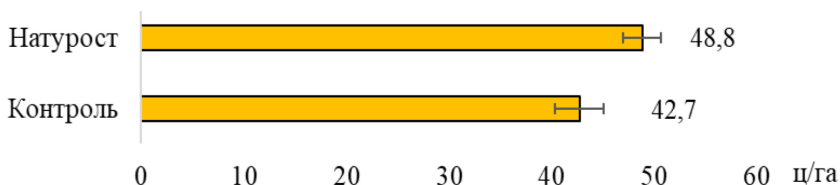


Рис. 3. Результаты зерновой продуктивности ячменя в производственном опыте на полях СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» в 2022 году

При анализе зерновой продуктивности обращает на себя внимание факт, что в условиях сельскохозяйственного предприятия она существенно выше, чем в условиях мелкоделяночного эксперимента. Это можно объяснить тем, что при выращивании ячменя в СПК (Колхоз) «Племзавод Пригородный» соблюдалась интенсивная технология возделывания, включающая в себя использование минеральных удобрений, фунгицидов и гербицидов.

Заключение

Экспериментальный препарат, созданный на основе живых бактерий *B. subtilis* штамма №111, оказал стимулирующее влияние на рост и продуктив-

ность ячменя обыкновенного сорта Сонет в условиях Вологодской области. За три года исследований в условиях мелкоделяночного эксперимента зерновая продуктивность культуры, при использовании биопрепарата возрастала на 7-19%, а в условиях производственного эксперимента продуктивность ячменя в опытном варианте оказалась выше на 14%. Возрастание зерновой продуктивности растений происходило за счет увеличения массы зерновки и некоторого увеличения продуктивной кустистости растений.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Васильева Е.Н., Ахтемова Г.А., Жуков В.А. Тихонович И.А. Эндوفитные микроорганизмы в фундаментальных исследованиях и сельском хозяйстве // Экологическая генетика. 2019. № 1 (17). С. 19-32. <https://doi.org/10.17816/ecogen17119-32>
2. Веселова С.В., Бурханова Г.Ф., Румянцев С.Д., Благова Д.К., Максимов И.В. Бактерии рода *Bacillus* в регуляции устойчивости пшеницы к обыкновенной злаковой тле *Schizaphis graminum* Rond. // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. № 1 (55). С. 56-63. <https://doi.org/10.1134/S0555109919010185>
3. Максимов И.В., Сингх Б.П., Черепанова Е.В. А., Бурханова Г. Ф., Хайруллин Р. М. Перспективы применения бактерий – продуктов липопептидов для защиты растений (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2020. № 56 (1). С. 19-34. <https://doi.org/10.31857/S0555109920010134>
4. Павловская Н.Е., Тимаков А.Г., Яковлева И.В., Мамеев В.В. Изучение эффективности применения биопрепаратов на фотосинтетическую деятельность и урожай ячменя // Вестник ИРГСХА. 2019. № 90. С. 44-50.
5. Рассохина И.И., Платонов А.В. Проблема повышения продуктивности зерновых культур Вологодской области // Молодые ученые - экономике региона: Материалы XX международной научно-практической конференции, Вологда, 25-27 ноября 2020 года. 2021. С. 337-341.
6. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство / Территориальный орган Федеральной службы статистики Российской Федерации [Электронный ресурс]. 1999-2023. Режим доступа: <https://35.rosstat.gov.ru/sel'skoe%20hozyajstvo> (дата обращения: 01.07.2023).
7. Сумина А.В., Полонский В.И., Количенко А.А. Кормовая ценность зерна ячменя, выращенного в условиях юга Сибири // Вестник Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2020. № 3 (33). С. 36-39.

8. Чеботарь В.К., Заплаткин А.Н., Щербаков А.В., Мальфанова Н.В., Старцева А.А., Костин Я. В. Микробные препараты на основе эндофитных и ризобактерий для повышения продуктивности овощных культур и ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и эффективности использования минеральных удобрений // Сельскохозяйственная биология. 2016. № 51 (3). С. 335-342. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.3.335rus>
9. Шимко В.Е., Кульминская И.В., Калитухо Л.Н., Гордей И.А. Сравнительный анализ показателей фотосинтеза и продуктивности у гибридов F2 озимой ржи // Физиология растений. 2009. № 56 (1). С. 139-146.
10. Шулико Н.Н., Хамова О.Ф., Воронкова Н.А., Тукмачева Е.В., Дороненко В.Д. Влияние комплексного применения удобрений и биопрепаратов на эффективное плодородие чернозема выщелоченного и продуктивность ячменя // Агрехимия. 2019. № 2. С. 13-20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
11. Blake C., Christensen M.N., Kovács Á.T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis* // Molecular Plant-Microbe Interactions, 2021, vol. 34, № 1, pp. 15-25. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR>
12. Hashem A., Tabassum B., Abd-Allah E.F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress // Saudi Journal of Biological Sciences, 2019, vol. 26, № 6, pp. 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
13. Höflich G., Wiehe W., Kühn G. Plant growth stimulation by inoculation with symbiotic and associative rhizosphere microorganisms // Experientia, 1994, vol. 50, № 10, pp. 897–905. <https://doi.org/10.1007/BF01923476>
14. Majeed A., Muhammad Z., Ahmad H. Plant growth promoting bacteria: Role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops // Plant cell reports, 2018, vol. 37, № 12, pp. 1599-1609. <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2341-2>
15. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterina M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina // Biological Control., 2020, № 141, pp. 104–152. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104152>
16. Naz I., Bano A., Ul-Hassan T. Isolation of phytohormones producing plant growth promoting rhizobacteria from weeds growing in Khewra salt range, Pakistan and their implication in providing salt tolerance to *Glycine max* L. // African Journal of Biotechnology, 2009, vol. 8, № 21, pp. 5762-5768. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1176>

17. Platonov A.V., Rassokhina I.I., Laptev G.Y., Bolshakov V.N. Preparations use based on bacteria of the genus *Bacillus* to increase the yield of oats (*Avena sativa* L.) // AGRIVITA: Journal of Agricultural Science, 2023, vol. 45, № 1, pp. 48-56. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v45i1.3757>
18. Sabaté D.C., Petroselli G., Erra-Balsells R., Audisio M.C., Pérez Brandan C. Beneficial effect of *Bacillus* sp. P12 on soil biological activities and pathogen control in common bean // Biological Control., 2020, № 141, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104131>
19. Sansinenea E. *Bacillus* spp.: As plant growth-promoting bacteria // Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_11
20. Sweany R.R., Breunig M., Opoku J., Clay K., Spatafora J.W., Drott M.T., Baldwin T.T., Fountain J.C. Why do plant-pathogenic fungi produce mycotoxins? Potential roles for mycotoxins in the plant ecosystem // Phytopathology, 2022, vol. 112, № 10, pp. 2044-2051. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-22-0053-SYM>
21. Tewari S., Arora N.K. Role of salicylic acid from *Pseudomonas aeruginosa* PF23^{EPS+} in growth promotion of sunflower in saline soils infested with phytopathogen *Macrophomina phaseolina* // Environmental Sustainability, 2018, № 1, pp. 49-59. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-0002-6>
22. Yasir T.A., Wasaya A., Hussain M., Ijaz M., Farooq M., Farooq O., Nawaz A., Hu Y.-G. Evaluation of physiological markers for assessing drought tolerance and yield potential in bread wheat // Physiology and Molecular Biology of Plants, 2019, № 25, pp. 1163-1174. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00694-0>

References

1. Vasil'yeva Ye.N., Akhtemova G.A., Zhukov V.A. Tikhonovich I.A. En-dofitnyye mikroorganizmy v fundamental'nykh issledovaniyakh i sel'skom khozyaystve [Endophytic microorganisms in fundamental research and agriculture]. *Ekologicheskaya genetika*, 2019, no. 1 (17), pp. 19-32. <https://doi.org/10.17816/ecogen17119-32>
2. Veselova S.V., Burkhanova G.F., Rumyantsev S.D., Blagova D.K., Maksimov I.V. Bakterii roda *Bacillus* v regulyatsii ustoychivosti pshenitsy k obyknovennoy zlakovoy tle *Schizaphis graminum* Rond [Bacteria of the genus *Bacillus* in the regulation of wheat resistance to the common cereal aphid *Schizaphis graminum* Rond]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2019, no. 1 (55), pp. 56-63. <https://doi.org/10.1134/S0555109919010185>
3. Pavlovskaya N.Ye., Timakov A.G., Yakovleva I.V., Mameyev V.V. Izucheniye effektivnosti primeneniya biopreparatov na fotosinteticheskuyu deyatel'nost'

- i urozhay yachmenya [The study of the effectiveness of the use of biological products for photosynthetic activity and barley yield]. *Vestnik IRGSKHA*, 2019, no. 90, pp. 44-50.
4. Maksimov I.V., Singkh B.P., Cherepanova Ye.V.A., Burkhanova G.F., Khayrul'lin R.M. Perspektivy primeneniya bakteriy – produktov lipopeptidov dlya zashchity rasteniy (obzor) [Prospects for the use of bacteria - products of lipopeptides for plant protection (review)]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2020, no. 56 (1), pp. 19-34. <https://doi.org/10.31857/S0555109920010134>
 5. Rassokhina I.I., Platonov A.V. Problema povysheniya produktivnosti zernovykh kul'tur Vologodskoy oblasti [The problem of increasing the productivity of grain crops in the Vologda region]. *Young Scientists - the economy of the region: Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference, Vologda, November 25-27, 2020*. 2021, pp. 337-341.
 6. Agriculture, hunting and forestry / Territorial body of the Federal Statistics Service of the Russian Federation. 1999-2023. URL: <https://35.rosstat.gov.ru/sel'skoye%20khozyaystvo> (accessed 01.07.2023)
 7. Sumina A.V., Polonskiy V.I., Kolichenko A.A. Kormovaya tsennost' zerna yachmenya, vyrashchennogo v usloviyakh yuga Sibiri [Fodder value of barley grain grown in the south of Siberia]. *Vestnik Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova*, 2020, no. 3 (33), pp. 36-39.
 8. Chebotar' V.K., Zaplatkin A.N., Shcherbakov A.V., Mal'fanova N.V., Startseva A.A., Kostin Ya.V. Microbial preparations on the basis of endophytic and rhizobacteria to increase the productivity in vegetable crops and spring barley (*Hordeum vulgare* L.), and the mineral fertilizer use efficiency. *Agricultural Biology*, 2016, vol. 51, no. 3, pp. 335-342. <http://dx.doi.org/10.15389/agrobiol-ogy.2016.3.335eng>
 9. Shimko V.Ye., Kul'minskaya I.V., Kalitukho L.N., Gordey I.A. Sravnitel'nyy analiz pokazateley fotosinteza i produktivnosti u gibridov F2 ozimoy rzihi [Comparative analysis of indicators of photosynthesis and productivity in F2 hybrids of winter rye]. *Fiziologiya rasteniy*, 2009, no. 56 (1), pp. 139-146.
 10. Shuliko N.N., Khamova O.F., Voronkova N.A., Tukmacheva Ye.V., Doronenko V.D. Vliyaniye kompleksnogo primeneniya udobreniy i biopreparatov na effektivnoye plodorodiye chernozema vyshchelochennogo i produktivnost' yachmenya [Influence of complex application of fertilizers and biological preparations on effective fertility of leached chernozem and barley productivity]. *Agrokimiya*, 2019, no. 2, pp. 13-20. <https://doi.org/10.1134/S0002188119020133>
 11. Blake C., Christensen M.N., Kovács Á.T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. *Molecular Plant-Microbe Inter-*

- actions, 2021, vol. 34, no. 1, pp. 15-25. <https://doi.org/10.1094/MPMI-08-20-0225-CR>
12. Hashem A., Tabassum B., Abd-Allah E.F. *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 2019, vol. 26, no. 6, pp. 1291-1297. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>
 13. Höflich G., Wiehe W., Kühn G. Plant growth stimulation by inoculation with symbiotic and associative rhizosphere microorganisms. *Experientia*, 1994, vol. 50, no. 10, pp. 897-905. <https://doi.org/10.1007/BF01923476>
 14. Majeed A., Muhammad Z., Ahmad H. Plant growth promoting bacteria: Role in soil improvement, abiotic and biotic stress management of crops. *Plant cell reports*, 2018, vol. 37, no. 12, pp. 1599-1609. <https://doi.org/10.1007/s00299-018-2341-2>
 15. Moya P., Barrera V., Cipollone J., Bedoya C., Kohan L., Toledo A., Sisterina M. New isolates of *Trichoderma* spp. as biocontrol and plant growth-promoting agents in the pathosystem *Pyrenophora teres*-barley in Argentina. *Biological Control*, 2020, no. 141, pp. 104-152. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104152>
 16. Naz I., Bano A., Ul-Hassan T. Isolation of phytohormones producing plant growth promoting rhizobacteria from weeds growing in Khewra salt range, Pakistan and their implication in providing salt tolerance to *Glycine max* L. *African Journal of Biotechnology*, 2009, vol. 8, no. 21, pp. 5762-5768. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1176>
 17. Platonov A.V., Rassokhina I.I., Laptev G.Y., Bolshakov V.N. Preparations use based on bacteria of the genus *Bacillus* to increase the yield of oats (*Avena sativa* L.). *AGRIVITA: Journal of Agricultural Science*, 2023, vol. 45, no. 1, pp. 48-56. <http://doi.org/10.17503/agrivita.v45i1.3757>
 18. Sabaté D.C., Petroselli G., Erra-Balsells R., Audisio M.C., Pérez Brandan C. Beneficial effect of *Bacillus* sp. P12 on soil biological activities and pathogen control in common bean. *Biological Control*, 2020, no. 141, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2019.104131>
 19. Sansinenea E. *Bacillus* spp.: As plant growth-promoting bacteria. *Secondary Metabolites of Plant Growth Promoting Rhizomicroorganisms*, 2019. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5862-3_11
 20. Sweany R.R., Breunig M., Opoku J., Clay K., Spatafora J.W., Drott M.T., Baldwin T.T., Fountain J.C. Why do plant-pathogenic fungi produce mycotoxins? Potential roles for mycotoxins in the plant ecosystem. *Phytopathology*, 2022, vol. 112, no. 10, pp. 2044-2051. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-22-0053-SYM>

21. Tewari S., Arora N.K. Role of salicylic acid from *Pseudomonas aeruginosa* PF23^{EPS+} in growth promotion of sunflower in saline soils infested with phytopathogen *Macrophomina phaseolina*. *Environmental Sustainability*, 2018, no. 1, pp. 49-59. <https://doi.org/10.1007/s42398-018-0002-6>
22. Yasir T.A., Wasaya A., Hussain M., Ijaz M., Farooq M., Farooq O., Nawaz A., Hu Y.-G. Evaluation of physiological markers for assessing drought tolerance and yield potential in bread wheat. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 2019, no. 25, pp. 1163-1174. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00694-0>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Платонов Андрей Викторович, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития; доцент
ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»; ФКОУ ВО «Вологодский институт права и экономики» ФСИН России
ул. Горького, 56а, г. Вологда, 160014, Российская Федерация; ул. Щетинина, 2, г. Вологда, 160002, Российская Федерация
platonov70@yandex.ru

Рассохина Ирина Игоревна, научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития
ФГБУН «Вологодский научный центр РАН»
ул. Горького, 56а, г. Вологда, 160014, Российская Федерация
rasskhinairina@mail.ru

Ильина Лариса Александровна, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
Петербургское шоссе, 2, г. Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Российская Федерация
ilina@spbgau.ru

Йылдырым Елена Александровна, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
Петербургское шоссе, 2, г. Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Российская Федерация
deniz@biotrof.ru

Лаптев Георгий Юрьевич, доктор биологических наук, профессор кафедры крупного животноводства
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»
Петербургское шоссе, 2, г. Санкт-Петербург, Пушкин, 196601, Российская Федерация
georg-laptev@rambler.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. Platonov, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Laboratory for Bioeconomics and Sustainable Development; Associate Professor
Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences; Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penitentiary Service of Russia
56a, Gorky Str., Vologda, 160014, Russian Federation; 2, Shchetinin Str., Vologda, 160002, Russian Federation
platonov70@yandex.ru
SPIN-code: 9123-2449
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>
Scopus Author ID: 57216410424

Irina I. Rassokhina, Researcher of the Laboratory for Bioeconomics and Sustainable Development
Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences
56a, Gorky Str., Vologda, 160014, Russian Federation
rasskhinairina@mail.ru
SPIN-code: 8216-9895
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6129-6912>
Scopus Author ID: 58154567100

Larisa A. Ilina, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Animal Husbandry
Saint-Petersburg State Agrarian University
2A, Peterburgskoe sh., St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation
ilina@spbgau.ru
SPIN-code: 5826-7525
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2789-4844>
Scopus Author ID: 57060452100

Elena A. Yildirim, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Animal Husbandry
Saint-Petersburg State Agrarian University
2A, Peterburgskoe sh., St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation
deniz@biotrof.ru
SPIN-code: 4479-7509
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5846-5105>
Scopus Author ID: 57059948100

Georgij Yu. Laptev, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Large Animal Husbandry
Saint-Petersburg State Agrarian University
2A, Peterburgskoe sh., St. Petersburg, Pushkin, 196601, Russian Federation
georg-laptev@rambler.ru
SPIN-code: 3600-5295
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8795-6659>
Scopus Author ID: 54414368800

Поступила 24.08.2023

После рецензирования 10.09.2023

Принята 18.09.2023

Received 24.08.2023

Revised 10.09.2023

Accepted 18.09.2023