

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Хассан Башар Абд Хассан

**ВЛИЯНИЕ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ НА
ФОРМИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ
В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Научный руководитель:
кандидат биол. наук, доцент
Колесников Леонид Евгеньевич

Санкт-Петербург – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ АГРОТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОСЕВОВ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	11
1.1 Проблема получения высококачественного зерна в Российской Федерации	11
1.2 Основные агроэкологические факторы, обуславливающие варьирование продуктивности пшеницы.....	14
1.3 Использование микробиологических препаратов и штаммов полезных микроорганизмов в практике растениеводства	23
1.4 Фитосанитарное состояние посевов как один из основных факторов, ограничивающий получение высококачественного зерна	40
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	44
2.1 Материалы исследований	44
2.2 Схема и методы проведения исследований	44
2.3 Агрометеорологические и почвенные условия в годы проведения исследований	49
ГЛАВА 3. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ.....	54
3.1 Формирование продуктивности мягкой пшеницы при инокуляции семян и внекорневом опрыскивании растений штаммами ассоциативных ризобактерий	54
3.1.1 Полевая всхожесть пшеницы при применении ассоциативных ризобактерий.....	54
3.1.2 Фитометрические показатели посевов мягкой пшеницы при применении ассоциативных ризобактерий.....	56
3.1.2.1 Продолжительность межфазного периода вегетации	56
3.1.2.2 Высота растений.....	59
3.1.2.3 Продуктивная и общая кустистость	61
3.1.2.4 Масса вегетативной части растений.....	63
3.1.2.5 Масса корней	64
3.1.2.6 Число первичных и узловых корней пшеницы.....	66
3.1.2.7 Длина первичных и узловых корней пшеницы	69

3.1.2.8 Площадь флагового и предфлагового листьев	72
3.1.3 Структура урожайности мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий.....	74
3.1.3.1 Длина колоса	74
3.1.3.2 Число колосков в колосе.....	76
3.1.3.3 Масса колоса.....	78
3.1.3.4 Число зерен в колосе	80
3.1.3.5 Масса зерен одного колоса	82
3.1.3.6 Масса 1000 зерен	84
3.1.3.7 Число зерен в колоске колоса	86
3.1.3.8 Масса зерен в колоске колоса.....	88
3.1.3.9 Пустые колоски в колосе	89
3.2 Агрэкологическое варьирование продуктивности и урожайности мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий	91
3.3 Интенсивность поражения мягкой пшеницы особо опасными болезнями при применении штаммов ассоциативных ризобактерий	96
3.4 Системный анализ фитометрических и фитопатологических показателей посевов пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий	101
3.5 Содержание фотосинтетических пигментов в листьях мягкой пшеницы при использовании штаммов ассоциативных ризобактерий	104
3.6 Экономическое обоснование применения штаммов ассоциативных ризобактерий в технологии возделывания мягкой пшеницы	106
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	110
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	113
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ.....	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	116
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ФИТОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ШТАММОВ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ	140

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одним из основных условий повышения урожайности зерновых культур и улучшения качества зерна в Российской Федерации является применение энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий. При этом возникают проблемы в технологиях их возделывания, в частности, связанные с необходимостью использования высококачественных семян и удобрений, влияние каждого из которых на прибавку урожая колеблется от 20 до 50% (Синицина и др., 2017). Необходимо стремиться к преобладанию в посевном материале биологически полноценных семян и разрабатывать способы повышения их посевной годности (Корягин, 2014; Синицина и др., 2017).

Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ (28 февраля 2024 года, № 145), необходим переход к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству. При этом агротехнологические приемы возделывания сельскохозяйственных культур должны предусматривать использование средств биологической регуляции роста и защиты растений. Это позволит сохранить видовое разнообразие агробиоценозов и оптимизировать фитосанитарное состояние посевов. Поэтому, в связи с вышеизложенным, весьма актуальным направлением является применение при возделывании сельскохозяйственных культур полифункциональных биопрепаратов на основе штаммов бактерий из группы PGPR (Plant Growth Promoting Bacteria), оказывающих ростостимулирующее действие на растения и стабилизирующих фитосанитарное состояние посевов (Павлюшин и др., 2022; Шапошников и др., 2011, 2023).

PGPR-штаммы можно разделить на продуцентов ростостимулирующих веществ и антагонистов фитопатогенных организмов (Пухаев и др., 2009). Они относятся к различным группам, в том числе они встречаются среди родов *Azospirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Agrobacterium*. Стимулирующее действие

бактерий традиционно связывают с тремя основными механизмами: продукцией ими фитогормонов, регулирующих рост растений, повышением доступности питательных веществ, защитой растений от болезней. Антагонистическая активность бактериальных штаммов связана с синтезом биологически активных соединений различной природы: антибиотиков, литических ферментов, сидерофоров и т.д. (Carmona-Hernandez et al., 2019).

Большую и разнообразную группу антибиотиков, эффективных против фитопатогенных микроорганизмов, образуют спорообразующие грамположительные бактерии *Bacillus subtilis*. Одним из первых антибиотиков, выделенных из культуральной жидкости *Bacillus subtilis*, был субтилилин, представляющий собой короткий пептид, затем из различных штаммов *B. subtilis* были выделены липопептидные антибиотики нескольких классов: Сабспорины, Бацилломицины L и D, Фенгицины, а также были идентифицированы Fe^{3+} сидерофоры. У некоторых штаммов *Bacillus subtilis* выявлена способность стимуляции роста растений посредством синтеза цитокининов (Шапошников и др., 2023).

Большой интерес у исследователей вызывает изучение типичных представителей ризосферной микрофлоры – бактерий рода *Pseudomonas*. Помимо антагонистических способностей по отношению к фитопатогенным грибам, бактерии рода *Pseudomonas* проявляют и другие защитные свойства: улучшают фосфорное питание растений, синтезируют стимуляторы их роста, являются продуцентами сидерофоров, способствующих транспорту железа, а также веществ, ответственных за индукцию резистентности к фитопатогенам. Псевдомонады, как типичные почвенные бактерии, способны к синтезу целого комплекса антибиотиков. Наиболее изучены антибиотики группы феназинов, флороглюцинов, пиолотеорин, пирролнитрин. Механизм защитного действия биопрепаратов на основе *Pseudomonas* объясняется синтезом различных метаболитов, в том числе 1-аминоциклопропан-1-карбоновой кислоты-дезаминазы (АСС-дезаминазы), ингибитора синтеза этилена, фунгистатических метаболитов, солюбилизаторов фосфора. Применение

псевдомонад в практике сельскохозяйственного производства может способствовать увеличению вегетативной биомассы пшеницы на 12%, биомассы корней – на 40%, урожайности зерна – на 16%. Фитогормоны *Sphingomonas* sp. (штамм K1B) могут воздействовать на механизмы синтеза этилена в растениях (Belimov et al., 2014).

Однако следует отметить, что практически не изучена сортовая отзывчивость сельскохозяйственных культур, в том числе зерновых, на действие вышеприведенных штаммов бактерий. Эффективность большинства современных биопрепаратов нестабильна, и зависит от комплекса природно-климатических факторов. Кроме того, необходимо проводить исследования по зональному конструированию фитомикробных систем и улучшению их адаптационных свойств (Завалин, 2005).

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности разработки агротехнологических приемов возделывания зерновых культур, в том числе мягкой пшеницы, с использованием штаммов ассоциативных ризобактерий из группы PGPR.

Степень разработанности. В России исследованию процессов взаимодействия ассоциативных ризобактерий с сельскохозяйственными культурами и том числе зерновыми, посвящен ряд работ: Лактионова (2010), Самохина (2011), Андропова (2015), Шапошникова (2015, 2016, 2023), Асатуровой (2016), Чеботаря (2016), Воеводина (2017), Гришечкиной (2017), Сиуновой (2017) и др. Кроме того, изучению механизмов взаимодействия зерновых культур с ассоциативными бактериями в зависимости от влияния биотических и абиотических факторов посвящены работы зарубежных авторов: Majeed (2015), Çiğ (2019), Draou (2022), Khan (2022) и др. Исследования эффективности ассоциативных ризобактерий в отношении комплекса фитометрических и фитопатологических показателей мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области ранее не проводились.

Научные исследования выполнены в соответствии с планами НИР ФГБОУ ВО СПбГАУ:

- 2017-2021 гг. Тема: «Развитие высокопродуктивного и экологически чистого сельского хозяйства, разработка и внедрение систем рационального применения удобрений, мелиорантов, средств защиты растений, создание безопасных и качественных продуктов питания и кормов» (раздел: «Современные технологии биологического контроля численности вредных организмов на важнейших с.-х. культурах»);
- 2022-2026 гг. Тема: «Обоснование и получение экономически выгодных урожаев сельскохозяйственных и декоративных культур заданного качества в конкретных почвенно-климатических условиях при минимальном отрицательном воздействии на окружающую среду в Северо-Западном федеральном округе» (раздел: «Современные технологии биологического контроля численности вредных организмов на важнейших с.-х. культурах»).

Цель и задачи исследований. Обосновать эффективность влияния штаммов ассоциативных бактерий *Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B на элементы продуктивности при возделывании мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области.

В задачи исследований входило:

1. Установить действие штаммов ассоциативных ризобактерий на элементы продуктивности мягкой пшеницы, основные показатели ее роста и развития.
2. Определить эффективность штаммов ассоциативных ризобактерий в отношении интенсивности развития особо опасных болезней мягкой пшеницы.
3. Оценить влияние природно-климатических факторов на урожайность мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий.

Научная новизна работы. Впервые в условиях Ленинградской области биологически обосновано использование штаммов ассоциативных ризобактерий *Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B в технологии возделывания мягкой пшеницы. Установлено положительное влияние инокуляции семян и внекорневого

опрыскивания растений штаммами бактерий на урожайность пшеницы, фитометрические и фитопатологические показатели ее посева. Получены новые сведения о механизмах взаимодействия пшеницы с ассоциативными ризобактериями в зависимости от ее сортовой принадлежности, фитосанитарного состояния посева и метеорологических факторов.

Теоретическая и практическая значимость исследований заключается в обосновании целесообразности использования ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B), как регуляторов роста при возделывании мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области. Экспериментально подтверждено, что повышение продуктивности пшеницы при применении указанных штаммов обусловлено сочетанием их ростостимулирующего действия на отдельные фитометрические показатели посевов с антагонистической активностью бактерий в отношении болезней листьев, супрессирующим влиянием на почвенные фитопатогены. Полученные данные свидетельствуют о возможности разработки технологии возделывания пшеницы, обеспечивающей рост ее продуктивности и снижение вредоносности возбудителей болезней, с минимизацией затрат на мероприятия по защите растений. Результаты исследований могут иметь широкое практическое применение в сельскохозяйственном производстве.

Методология и методы исследований. Методология научных исследований основывается на анализе научных трудов отечественных и зарубежных ученых, разработке цели, задач и программы исследований, постановке полевых опытов с применением методов описательной статистики.

Положения, выносимые на защиту:

– Штаммы ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B) оказывают стимулирующее действие на полевую всхожесть семян и комплекс фитометрических показателей мягкой пшеницы, что приводит к повышению ее урожайности и изменениям в ее структуре;

– Штаммы ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B) обладают выраженной антифунгальной активностью, и могут быть использованы для биоконтроля возбудителей основных болезней мягкой пшеницы;

– Эффективность штаммов ассоциативных ризобактерий (*Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B) зависит от агроэкологических условий возделывания мягкой пшеницы (сорта, типа патогенеза, природно-климатических факторов).

Степень достоверности и апробация работы. Экспериментальные данные проанализированы с использованием методов описательной статистики (Наследов, 2013), дисперсионного (Доспехов, 2024), корреляционного и регрессионного анализов (Валге, 2010; Кулаичев, 2006), реализованных в программных комплексах MS Microsoft Excel, IBM SPSS 21.0, StatSoft Statistica 7.0. Полученные в ходе полевого опыта данные сопоставлены с результатами научных исследований других исследователей.

Основные положения научно-квалификационной работы были доложены на научно-практических конференциях различного уровня: на Международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся «Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК» (тема доклада: «Анализ эффективности ассоциативных ризобактерий при возделывании мягкой пшеницы», 17 марта 2022 г.); Международной научно-практической конференции «Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики» (тема доклада: «Биологическое обоснование использования ассоциативных ризобактерий при возделывании мягкой пшеницы», 27 мая 2022 г.); Международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся «Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК», посвящённой 150-летию со дня рождения Е.Ф. Лискуна (тема доклада: «Агроэкологическое варьирование продуктивности и поражаемости пшеницы болезнями при применении ассоциативных ризобактерий», 16

марта, 2023 г.); III международной научной конференции “Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития” (Санкт-Петербург, 19-24 апреля 2021 г., Университет ИТМО, 2021).

Публикации. По материалам научно-квалификационной работы (диссертации) издано восемь печатных работ, две из которых опубликованы в изданиях: «Российская сельскохозяйственная наука», «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета», рекомендованных ВАК Минобрнауки России; пять – в журналах «Applied Biochemistry and Microbiology», «Agronomy Research», «Indian Journal of Agricultural Research», «Biology and Life Sciences Forum», одна – в сборнике «IOP Conference Series: Earth and Environmental Science», индексируемых в международных базах данных, в том числе в Scopus и Web of Science, включенных в ядро РИНЦ.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в разработке программы исследований, закладке полевых опытов, проведении учетов и наблюдений в полевых и лабораторных экспериментах. Автором выполнена статистическая обработка полученных результатов и сформулированы основные положения диссертации.

Объем работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения, рекомендаций производству, списка литературы (187 источников, из которых 60 иностранных), включает 3 таблицы, 69 рисунков, 1 приложение. Общий объем работы составляет 142 страниц компьютерного текста.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ АГРОТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ ПРОДУКТИВНОСТИ ПОСЕВОВ ПШЕНИЦЫ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Проблема получения высококачественного зерна в Российской Федерации

В сельском хозяйстве пшеница (*Triticum aestivum* L.) является основным источником питания, имеющим большое значение в большинстве стран мира. В последние годы общая площадь пахотных земель во всем мире для культивирования пшеницы составляла около 220 млн га. Крупнейшими странами-производителями пшеницы являются Китай, Индия, Россия, США и Канада. На эти страны приходится половина мировых посевных площадей пшеницы. В 2021 году годовое производство пшеницы в мире достигло почти 800 миллионов тонн, однако население мира увеличивается, соответственно, и спрос на пшеницу также растёт (Leonova и др., 2022).

Российская Федерация на сегодняшний день является государством, занимающим самую большую площадь – 1712,52 млн. га. Земли сельскохозяйственного назначения располагаются на 374,97 млн га (Государственный доклад... 2023), Россия по этому показателю занимает место в тройке лидирующих стран в мире (Земельные ресурсы, 2023). По размеру посевных площадей по данным мирового атласа Россия стоит на третьем месте после Индии и США.

Северо-Западный Федеральный округ не отличается высокими показателями производства сельхозпродукции, несмотря на внушительную площадь, занятую под сельхозугодия – 6807,5 тыс. га, в том числе под пашни – 3411 тыс. га (Государственный доклад... 2023).

Получение высоких валовых сборов сельскохозяйственной продукции и устойчивых урожаев лежит в основе продовольственной безопасности страны. Доктриной о продовольственной безопасности (Указ Президента РФ от 21 января 2020 г., № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации») установлены определенные пороги

удельного веса отечественной сельскохозяйственной продукции, которые в настоящее время в целом соблюдаются.

В то же время, уровень продовольственной безопасности по регионам России сильно варьируется. Так, Северо-Западный регион отличается высоким уровнем рисков, связанных с климатическими условиями, и занимает последнее место среди всех регионов по производству зерна и овощей, по остальным показателям (производство картофеля, мяса, молока) – предпоследнее 6-е место, и только по производству яиц – 3-е. Первое место среди всех регионов по совокупности показателей занимает Приволжский регион (по всем показателям 2-е место кроме мяса и молока, где занимает 1-е) (Лысоченко, 2009).

Для России производство зерновых культур имеет стратегическое значение в обеспечении продовольственной безопасности страны (Фрейдкин, 2017). Их посевы по площади и объемы производства занимают 4-е место в мире после Индии, Китая и США, причем 3/5 площадей зерновых в нашей стране занимает пшеница. Отечественные селекционеры за последние годы создали оригинальные урожайные высококачественные сорта озимой пшеницы с потенциалом продуктивности в Центральной России 8-10 и более т/га, яровой – 6-8 т/га. Сорта, созданные за последние 15-20 лет в различных регионах России, в подавляющем большинстве, способны формировать высококачественное зерно. Только в 2015 и 2016 гг. создано и передано на государственное сортоиспытание более 60 новых сортов пшеницы, качество зерна которых отвечает требованиям «сильной» и «ценной» пшениц (I и II класса).

Для производства хлебопекарной муки используются без улучшителей зерна пшеницы 1-3 классов, при использовании зерна 4-го класса требуется добавление улучшителей, зерно 5-го класса для производства крупяных, макаронных и мукомольных изделий не используется. Таким образом, для обеспечения реальной продовольственной безопасности необходимо повышение доли высококлассного зерна в производстве (Агапкин, 2017).

Качество зерна зависит от многих факторов, которые можно разделить на две группы (Захарова, Захаров, 2016):

- факторы, на которые воздействовать не представляется возможным (погодно-климатические условия вегетационного сезона);
- факторы, которыми можно управлять (питание растений, защита растений от вредителей, болезней и сорняков и качественная доработка зерна).

Чтобы уровень содержания белка и клейковины в зерне были высокими, растения должны получать необходимое количество азота в критические фазы развития — кущение, рост стебля и непосредственно перед колошением.

Болезни растений существенно снижают урожайность и качество зерна. Согласно оценке экспертов, болезни колоса, в том числе септориоз и фузариоз, приводят к уменьшению содержания белка и клейковины, снижению количества и массы 1000 зерен и загрязнению микотоксинами. Поражение болезнями листьев (пятнистости, различные виды ржавчины и мучнистая роса) также снижает содержание белка и клейковины, уменьшает массу 1000 зерен и выход муки.

Для решения этой проблемы необходимо пересмотреть ряд позиций, связанных с фитосанитарным состоянием посевов. Во-первых, озаботиться стабилизацией и повышением почвенного плодородия за счет внесения как минеральных, так и органических удобрений. В России использование удобрений значительно ниже, чем в странах Западной Европы и США (Санин, 2016).

В последние годы внесение минеральных удобрений под посевы в сельскохозяйственных организациях составляет 2,3- 2,5 млн. т питательных веществ, или в среднем 40-45 кг/га д.в. При том, в Канаде вносится 74 кг/га, США – 131, Германии – 199, в Республике Беларусь – в пределах 140-160 кг/га в д.в.

Во-вторых, продолжающееся снижение качества зерна нередко происходит в результате нарушения или игнорирования научно обоснованных

зональных систем земледелия, несоблюдения севооборотов, уменьшения площадей под хорошими предшественниками, в частности, кормовыми травами.

В-третьих, из-за плохой технической оснащенности - нехватки уборочной техники, устаревания оборудования зернохранилищ - и других технических проблем качество зерна снижается как в процессе уборки, так и при хранении.

Немаловажное значение имеет качество посевного материала, причем упор следует делать на районированные отечественные сорта.

Вместе с тем, на качество конечного продукта существенное влияние оказывает обеспеченность производства продукции растениеводства средствами защиты растений, особенно фунгицидами, т.к. зараженность зерна фитопатогенами влияет на накопление микотоксинов, что напрямую сказывается на качестве пшеницы; и безопасности для здоровья человека и животных, употребляющих такое зерно.

Кроме всего вышперечисленного, существенно снижен экономический стимул получения высококачественного зерна из-за того, что цена между высококачественным сырьем и фуражной пшеницей незначительна. Таким образом, производителям оказывается невыгодным нести дополнительные затраты на получение качественного зерна. При этом известно, что чаще всего между количеством урожая и качеством существует обратная корреляционная зависимость. Чем выше урожай, тем ниже качество и наоборот.

1.2 Основные агроэкологические факторы, обуславливающие варьирование продуктивности пшеницы

Продуктивность пшеницы – комплексный, многофакторный показатель, на который существенное влияние оказывает множество предикторов, которые можно разделить по причинам, их вызывающим, на две группы: природные и антропогенные. Природные факторы принято делить на

климатические и биологические. В экстенсивном земледелии, основанном на минимальном вложении в землю и в производство, получение урожая на 50-60% обусловлено природными факторами. В интенсивном земледелии за счет сортосмены, высокого уровня химизации резко возрастает роль биологических (28-37%) и антропогенных факторов (37-43%) (Иванова и др., 2014).

Основные факторы, влияющие на урожайность зерновых культур в Северо-Западном регионе РФ.

Климатические факторы. К климатическим факторам, влияющим на урожайность зерновых культур, можно отнести солнечную активность, метеорологические условия периода вегетации, а также агрохимическое состояние, тип и рельеф почвы.

Созданы математические модели, описывающие изменение урожайности зерновых культур в зависимости от солнечной активности и температуры. Так, на примере пшеницы показано, что на фоне нормальной ирригации и хорошего минерального питания на повышение урожайности в большей степени влияют сниженные температуры в начале вегетации, что удлиняет общий вегетационный период, чуть меньшее значение имеет солнечная радиация. Существенное влияние на урожайность оказывает температура и солнечная радиация в период сева. При посеве после оптимальной даты показано достоверное снижение урожайности пшеницы независимо от сорта (Трухачев, Никитенко, 2011).

Экстремальные погодные условия: засуха, ураганные ветры, ливни, град и другие, оказывают негативное влияние на урожайность любых сельскохозяйственных культур. Для построения адекватных моделей прогнозирования урожая важно знать наиболее уязвимые периоды вегетации тех или иных культур. Так, при засухе наиболее уязвимыми оказываются фаза цветения и формирования зерна зерновых культур (Леонтьева и др., 2017).

Ливневые дожди, град, обильные осадки и сильный ветер вызывают полегание всходов, а также зрелых растений, способствуют

преждевременному осыпанию зерна, снижению фотосинтетической активности, заражению грибными болезнями и, следовательно, негативно сказываются на урожайности. Различают три вида полегания: корневое, вследствие слабого сцепления корней с почвой, стеблевое и поникание (у колоса). На устойчивость к полеганию оказывают влияние множество факторов, как биологического (архитектоника стебля, свойства колоса, развитие корневой системы), так и климатического (увлажненность и переувлажненность почвы, сила ветровой нагрузки) характера. Наибольший вред полегание приносит в период молочной спелости пшеницы, потери урожая могут достигать 60-80% (Черпак и др., 2010).

Избыток влаги в почве оказывает неблагоприятное воздействие на корневую систему, нарушая физиолого-биохимические процессы и, соответственно, продуктивность растений. Наиболее существенное влияние на урожай оказывает переувлажнение почвы, особенно, в период посева (Кравченко и др., 2014).

Не менее значительное влияние на урожайность зерновых оказывают особенности агроландшафта: тип, состав и эрозия почв, рельеф, освещенность склонов, наличие полевых лесополос.

Неоднородность рельефа на сельскохозяйственном поле приводит к колебаниям урожайности из-за несовпадения оптимальных сроков обработки почвы, посева. От 74% до 78% пространственной изменчивости прибавки урожая пшеницы озимой объясняется рельефом, климатом, почвами и сортом пшеницы, причем ведущими факторами среды являются освещенность склонов с юго-запада, величина средних многолетних осадков февраля и типы почв (Шарый и др., 2011). Перепад высот на возделываемых участках приводит к неравномерности распределения некоторых компонентов почвы, что влияет на эрозию и, в конечном счете, на урожайность (Шабаев, 2009).

Значительное влияние на накопление влаги в почве и, вследствие этого, на повышение продуктивности сельскохозяйственных культур оказывают полевые лесонасаждения. Они способствуют активизации деятельности

микроорганизмов (Адров и др., 2011), накоплению и распределению снежного покрова (Хисамов, Кулагин, 2009), уменьшению ветровой эрозии почвы (Михин, 2013).

Биологические факторы. К биологическим факторам традиционно относят биологические свойства среды и растений, не зависящие от деятельности человека: плодородие почвы, обусловленное содержанием органических веществ, биоразнообразием, генетическая основа растений, включающая устойчивость растений к стрессам, районированность сортов и состояние семян перед посадкой.

В связи с повсеместным снижением плодородия почвы особую актуальность приобретают различные методы оценки роли биологических факторов в воспроизводстве плодородия (Новиков, Кисаров, 2012). Распад поступающего в почву органического вещества, являясь одним из звеньев биологического круговорота, обеспечивает устойчивость биоценозов в целом, формирует гумус почв. Экспериментально доказано, что повышение содержания гумуса на 1% в дерново-подзолистой почве увеличивает продуктивность пашни более чем на 25 %.

Соотношение отчуждаемой массы корневых и пожнивных остатков неодинаково в зависимости от почвенно-климатических условий, уровня урожая, биологических особенностей культур, агротехники их возделывания. Многочисленные исследования показывают, что одним из наиболее значимых показателей плодородия почв является соотношение углерода и основных питательных элементов азота, фосфора и калия. Новиковым с соавторами показано, что критическое соотношение углерода к азоту, характеризующее доступность микроорганизмам питательных веществ, содержащихся в растительных остатках, и влияющих на почвенное плодородие, колеблется от 15 до 30 в зависимости от запаса минерального азота в почве, качества органических веществ, длительности их разложения (Новиков, Кисаров, 2012).

Отличие высокопродуктивных почв, обеспечивающих высокие урожаи, от низкопродуктивных заключается не только в их физических характеристиках и содержании и доступности питательных веществ, но в соотношении количества и разнообразия биоты.

Плодородные почвы, как правило, высокогумусированные, так называемые «здоровые почвы» имеют благоприятную для растений структуру, хорошую водоудерживающую способность, достаточный запас питательных веществ, сбалансированное биоразнообразие и способность аборигенного микробного сообщества противостоять фитопатогенной и патогенной биоте, как местной, так и интродуцированной (Линков, 2014). Так, в результате многолетних исследований было показано, что при биологизированной системе земледелия (без применения минеральных удобрений и химических пестицидов) состояние почвы по физико-химическим показателям и биоразнообразию полезной биоты было выше, при этом урожайность хотя и несколько снижалась, в целом энергозатраты на производство той же полезной биомассы были ниже и экономическая эффективность выше, чем при традиционных системах земледелия (Mäder, 2002).

По мнению специалистов, до половины прироста урожая зерновых достигается за счет внедрения новых сортов и гибридов (Беляев, Соколова, 2012).

Урожайность зерновых культур, при прочих равных условиях, существенно зависит от генетически детерминированной продуктивности сорта. Продуктивность растений – сложный, многофакторный набор качеств, обусловленных физиолого-биохимическими процессами, протекающими в растительном организме. При этом, в зависимости от климатических условий и наличия вредителей, болезней и сорняков степень проявления генетически обусловленных признаков будет меняться (Мамеев, Никифоров, 2015).

Селекция на урожайность пшеницы фенотипически коррелирует с увеличением фотосинтетической активности, отзывчивостью на внесение

минеральных удобрений, низкой полегаемостью и другими факторами (Нигматьянов и др., 2015).

В настоящее время урожайность сортов пшеницы в Европе и Америке приближена к биологически возможной продуктивности, хотя на территории России этот предел еще не достигнут (Кадиков и др., 2015), поэтому селекция новых сортов пшеницы на урожайность является существенным фактором повышения продуктивности зерна. Современные сорта располагают достаточным биологическим потенциалом, продуктивностью и урожайностью для обеспечения окупаемости затрат материально-технических ресурсов, но реализация этого потенциала возможна только при положительном балансе всех ресурсов, в том числе и почвенно-климатических условий (Хисамов, 2008).

Северо-Западный регион России относится к зоне рискованного земледелия, и сельскохозяйственные растения, в том числе пшеница, подвергаются многочисленным стрессам: поздним весенним заморозкам, переувлажнению почвы, ветровой нагрузке, засухе и другим. Районирование сортов на устойчивость к специфическим стрессам приводит к увеличению продуктивности растений.

Антропогенные факторы. К антропогенным или организационно-техническим факторам повышения урожайности относят севооборот, различные агротехнические мероприятия.

О необходимости соблюдения севооборотов для получения устойчиво высоких урожаев писали исследователи еще в начале прошлого столетия (Варгин, 1911,1922; Прянишников, 1945; Подгорбунских, 2013; Зеленев и др., 2016). В своей работе «Севооборот и его значение в поднятии урожайности» Д.Н. Прянишников выделил четыре группы факторов необходимости севооборота: причины (факторы) химического порядка, причины физического порядка, причины биологического порядка и причины экономического порядка (Прянишников, 1976).

При изучении влияния разных типов севооборотов было установлено, что при прочих равных условиях, наибольшие прибыли от реализации пшеницы получали в зерновотравяно-пропашном севообороте независимо от предшественника и минерального питания (Горпинченко, 2013; Курдюков и др., 2014; Черкасов, Акименко, 2016). Наиболее высокие урожаи яровой пшеницы в контролируемых экспериментах наблюдались в звене севооборота с чистым паром на фоне внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ (Салтыкова, 2010). При использовании шестипольного севооборота наибольший урожай яровой пшеницы также получали после чистого пара на фоне внесения $N_{60}P_{25}$ (Гаркуша, Усенко, 2010). Наилучшим предшественником в семипольном севообороте для яровой пшеницы был картофель (Борисова, 2012).

Высокие урожаи пшеница дает при использовании в качестве предшественников многолетних трав и бобовых как за счет улучшения физико-механических свойств и химического состава почв (Денисов и др., 2014), так и за счет снижения возбудителей корневых гнилей (Лапина и др., 2013).

Как показали исследования, урожайность зерновых существенно зависит не только от вида предшественника, но и от того, на каком сроке тот был убран и какое количество растительных остатков при этом поступило в почву (Мельник, Мартынов, 2012; Дридигер, Попова, 2013).

Значительное влияние на полноту раскрытия биологического потенциала сорта оказывают различные технологии возделывания: методы обработки почвы (Юшкевич и др., 2015), протравливание семян (Грехова, Матвеева, 2014), использование химических (Парахин, Лысенко, 2012;) и биологических средств защиты растений (Тайметов, 2016), схемы внесения минеральных удобрений (Усенко, Усенко, 2016) и мелиоративные мероприятия (Иванова и др., 2014).

Использование химических и биологических средств защиты, внесение минеральных удобрений, мелиоративные мероприятия практически всегда ведут к увеличению урожайности, независимо от типа почвы, сорта пшеницы

и других параметров. Это приводит к повышению затрат и себестоимости готовой продукции, поэтому существенным в этом случае является не просто увеличение урожайности на некую величину, а экономический эффект от использования агротехнологий и повышение качества зерна (Горпинченко, 2007; Сабитов, 2016). Так, при испытании различных схем применения инсектицидов при краевой защите яровой пшеницы в Оренбургской области было показано, что, хотя инсектицидную защиту обеспечивали все испытанные пестициды, экономический эффект оказался положительным только при использовании Карате Зеон (Глинушкин, 2009).

Немаловажную роль играет также техническое оснащение сельскохозяйственного производства. С агротехнической точки зрения наилучшим уровнем технической обеспеченности считается такой уровень, который обеспечивает надежное выполнение всех технологических операций в оптимальные агротехнические сроки (Машков, 1994). Эффективность производства зависит от многих обстоятельств и условий, как внешних, так и внутренних по отношению к сельскохозяйственному предприятию. Поскольку экономическая эффективность оценивается по прибыли и ее отношению к полной себестоимости реализованной продукции и совокупным фондам, то рассматриваются факторы, влияющие на прибыль (Лабынцев, Губарева, 2012). Так как прибыль определяется как разность выручки от реализации продукции и затрат на производство, для производителя важно в первую очередь снижать размеры затрат (Векленко, Айдиев, 2007). Он может снижать затраты на неизменный объем производства и реализации, увеличивать объем продукции при тех же затратах или обеспечивать увеличение объема производства и сбыта опережающими темпами в сравнении с ростом затрат (Горпинченко, 2007; Лабынцев, Губарева, 2012). Трехфакторный анализ эффективности возделывания озимой пшеницы показал, что наибольшее влияние на урожайность и качество зерна оказывают такие факторы, как доза внесения азотных удобрений и способ посева (рядовой или разбросной), способ обработки почвы очень мало влияет на урожайность и качество, следовательно

снижение затрат на отвальную вспашку позволяет повысить эффективность технологии возделывания пшеницы озимой (Орлов, Ткачук, 2011).

В зависимости от наличия в хозяйстве средств интенсификации производства (семян, удобрений, средств защиты растений, машин, топлива), применяют экстенсивные, нормальные, интенсивные и высокоинтенсивные технологии (Матюк и др., 2011).

Экстенсивные технологии ориентированы на использование естественного плодородия почв без применения органических или минеральных удобрений. Нормальные технологии предусматривают применение удобрений в объемах, обеспечивающих поддержание среднего уровня окультуренности почв и предотвращение их деградации. Интенсивные технологии обеспечивают оптимальный уровень минерального питания растений и применение средств защиты растений от вредителей и болезней, сорняков и полегания (Сабитов, 2016).

Высокоинтенсивные технологии обеспечивают не только оптимальный уровень минерального питания растений и защиту от сорняков, вредителей и болезней, но и качественно отличные способы предпосевной подготовки почвы с помощью комбинированных машин, посев семян на одинаковую глубину сеялками точного посева, адекватную систему ухода за посевами с использованием прецизионных опрыскивателей, уборку урожая высокопроизводительными техническими средствами с минимальными потерями и безотходную послеуборочную обработку урожая.

Нормальные технологии обеспечивают реализацию биологического потенциала возделываемых сортов более, чем на 50%, интенсивные – на 65%, а высокоинтенсивные – на 85% (Лабынцев, Губарева, 2012, Рыжов, 2016).

В условиях глобальных климатических изменений предстоит инвентаризация и переоценка агроресурсов и ассортимента культурных растений, пересмотр принципов природоохранных мероприятий, формирование экологического каркаса природных зон за счет новых агротехнологий, комплекса мелиораций, агроэколесомелиоративного

обустройства сельхозугодий, адаптивных систем ландшафтного землеустройства. Особого внимания заслуживает скрининг, сохранение, восстановление биоразнообразия, создание сортов и гибридов со стабильно высокими продуктивностью и качеством зерна, с повышенной устойчивостью к наиболее опасным патогенам, повышение устойчивости к эдафическим факторам (Иванов, 2009).

1.3 Использование микробиологических препаратов и штаммов полезных микроорганизмов в практике растениеводства

Первые научные исследования о взаимоотношении микроорганизмов и высших растений относятся к началу XX века (Завалин и др., 2012). До конца прошлого столетия основным предметом изучения служили взаимоотношения растений и микроорганизмов с точки зрения установления между ними трофических и антагонистических связей, что в значительной мере верно и сейчас, но именно исследования последних лет показали, что эти связи гораздо сложнее, многообразнее и незаменимы для нормального функционирования растений.

В настоящее время взаимодействие микроорганизмов и высших растений рассматривается в основном как результат интеграции генетических факторов партнеров.

Основным объектом исследования стали взаимодействия бобовых растений и клубеньковых бактерий (McCormick, 2018), но на основе этих знаний были выявлены некоторые универсальные «гены взаимодействия», которые участвуют в формировании не только азотфиксирующего, но и других симбиозов (Kohler et al., 2015).

К основным механизмам полезного действия микроорганизмов на растения относятся:

- фиксация атмосферного азота (улучшение азотного питания);

- оптимизация фосфорного питания растений;
- ускоренное развитие растений и созревание урожая;
- подавление развития фитопатогенов (контроль за развитием болезней и снижение поражённости ими растений, улучшение хранения продукции);
- улучшение питания растений (повышение коэффициентов использования питательных элементов из удобрений и почвы);
- повышение устойчивости растений к стрессовым условиям (возможность повышения продуктивности растений на фоне водного дефицита, неблагоприятных температур, повышенной кислотности, засоления или загрязнения почвы).

Рынок биопрепаратов в разных странах мира существенно отличается как по ассортименту продуцентов, так и по объектам защиты. Так, по данным авторов (Бизюкова, 2012) в Северной Америке и Европе количество штаммов-продуцентов и препаратов на их основе в разы больше, чем в России и в странах СНГ. В то же время, на территории постсоветского пространства биопрепараты применяют по большей части для обработки зерновых, зернобобовых, овощных культур открытого грунта и леса, на долю закрытого грунта приходится около 15% рынка потребления микробиопрепаратов. В Европе и США, наоборот, основная масса биопрепаратов предназначена для обработки овощных (60%) и плодово-ягодных культур, что связано скорее всего с особенностями структуры аграрно-промышленного комплекса и природно-климатическими условиями.

В настоящее время во всем мире наиболее широкое применение получили биопрепараты с фунгицидной и инсектицидной активностью (Бизюкова, 2012). Подавляющее большинство биопрепаратов предназначено для борьбы с различными болезнями пшеницы, причем основными продуцентами являются штаммы *Bacillus subtilis*, некоторые виды *Pseudomonas* и штаммы гриба *Trichoderma harzianum*. Рассмотрим подробнее

механизм антагонистической активности этих штаммов-продуцентов, который положен в основу защитного действия препаратов на их основе.

Все изученные к настоящему времени механизмы положительного влияния микроорганизмов на растения можно условно разделить на два типа: 1) прямая или непосредственная стимуляция роста растений за счет синтеза различных метаболитов, полезных для растений; 2) опосредованная стимуляция роста растений за счет вытеснения и подавления развития почвенных фитопатогенов или микроорганизмов, угнетающих рост растений (Лукьянцев, 2010).

Одним из ключевых элементов механизма антагонистической активности штаммов микроорганизмов является синтез биологически активных соединений различной природы: антибиотиков, литических ферментов, сидерофоров и т.д. Важнейшую роль в механизме антагонизма играют соединения, проявляющие антибиотическую активность в отношении возбудителей болезней. Эти соединения представляют собой вторичные метаболиты, продуцируемые микроорганизмами часто в особых условиях: при повышенной конкуренции за субстрат, при недостаточной концентрации основных питательных элементов или макро- и микроэлементов, при наличии нетипичного источника питания или макроэлементов, при изменении условий среды, при наличии подходящего объекта, используемого в качестве дополнительного источника питания и в других нетипичных условиях существования (Петенко и др., 2014).

Выявлению механизмов взаимодействия микробов-антагонистов, фитопатогенов и растений, а также созданию и применению биопрепаратов на основе микробов-антагонистов посвящено несколько монографий и обзоров (Singh et al., 2017).

Активными продуцентами биологически активных веществ могут быть микроорганизмы, принадлежащие к разным таксономическим группам. Большую и разнообразную группу антибиотиков, эффективных против фитопатогенных микроорганизмов, образуют спорообразующие

грамположительные бактерии *Bacillus subtilis*. Разнообразные штаммы *B. subtilis* в большом количестве получены из различных типов почв или растений (Лукьянцев, 2010). Одним из первых антибиотиков, выделенных из культуральной жидкости *Bacillus subtilis*, был Субтилин, представляющий собой короткий пептид, затем из различных штаммов *B. subtilis* были выделены липопептидные антибиотики нескольких классов: Сабспорины, Бацилломицины L и D (Zhang et al., 2008), Микосубтиллины, Фенгицины (Vanittanakom et al., 1986), Итурин А (Cho et al., 2003), Бацилизин (Schreiber et al., 1988), Плипастатин и Сурфактины (Roongsawang et al., 2002), противогрибковый протеин E2 (Liu et al., 2010), а также были идентифицированы Fe^{3+} сидерофоры.

Среди липопептидов, продуцируемых *B. subtilis*, встречаются соединения с 7-10 аминокислотами L и D конфигурации. Липидный фрагмент варьирует от C_{13} до C_{17} , что приводит к разным изомерам. В сурфактинах и фенгицинах закрытие кольца достигается путем образования лактоновой связи между C-концевой аминокислотой и гидроксильной группой, либо компонента *b*-гидроксикислоты (сурфактины), либо внутреннего остатка тирозина (фенгицины). В итуринах образуется пептидная связь между карбоксильной группой C-концевой аминокислоты и β -аминогруппой остатка β -аминокислот. Сурфактины демонстрируют слабые антибиотические, но сильные гемолитические и поверхностно-активные свойства (Kowall et al., 1998), тогда как фенгицины являются мощными противогрибковыми средствами (Vanittanakom et al., 1986). Наибольшее молекулярное разнообразие встречается среди итуринов. Следовательно, они различаются по своим гемолитическим, антибактериальным и/или фунгицидным свойствам (Eshita et al., 1995).

Большой интерес у исследователей вызывает изучение типичных представителей ризосферной микрофлоры – бактерий рода *Pseudomonas* (Леонтьевская, 2014). Антагонистические свойства псевдомонад отмечались исследователями еще во время начального этапа изучения этой группы

микроорганизмов – в конце 19-го – начале 20-го столетия (Смирнов, Киприанова, 1990). Кроме антагонистических способностей по отношению к фитопатогенным грибам, бактерии рода *Pseudomonas* проявляют и другие защитные свойства: улучшают фосфорное питание растений, синтезируют стимуляторы роста растений, являются продуцентами сидерофоров, ответственных за транспорт железа, а также веществ, ответственных за индукцию резистентности к фитопатогенам (Pieterse et al., 2014). Несмотря на большой ассортимент вторичных метаболитов, продуцируемых псевдомонадами, наибольший вклад в защиту растений от грибных инфекций вносят, по мнению исследователей, антибиотические вещества. Так, было показано, что штамм *P. fluorescens* 2-79, дефектный по синтезу феназинового антибиотика, в значительной степени утрачивал способность к защите семян пшеницы от возбудителей корневой гнили по сравнению с исходным штаммом (Bull et al., 1991).

Псевдомонады, как типичные почвенные бактерии, способны к синтезу целого комплекса антибиотиков. Например, из *P. fluorescens* было выделено более 20 антибиотических веществ, из *P. aeruginosa* – более 30 (Смирнов, Киприанова, 1990). Наиболее хорошо изучены антибиотики группы феназинов (Клочко, 2017), пиолотеорин (Hu et al., 2005), пирролнитрин (Киприанова и др., 2013). Было показано, что для некоторых видов *Pseudomonas* способность синтезировать определенные антибиотики может служить таксономическим маркером (Клочко, 2017).

Большую и разнообразную группу антибиотиков, эффективных против фитопатогенных микроорганизмов, образуют грибы рода *Trichoderma*, в настоящее время их известно около 100. В обстоятельном обзоре (Коломбет, 2007) собраны современные представления об этом роде несовершенных грибов: описаны таксономические признаки, биологические особенности, антагонизм и взаимоотношения с высшими растениями и почвенной микрофлорой, приведен перечень биопрепаратов на основе грибов рода

Trichoderma, зарегистрированных в разных странах, и указана методика получения различных форм биопрепаратов.

Как правило, в механизме антагонистического действия штаммов грибов принимают участие и антибиоз, и микопаразитизм. Исследования показали, что штаммы грибов-антагонистов оказывают комплексное действие на растительный организм.

Кроме защитного действия от фитопатогенов многие почвенные, особенно обитающие в ризосфере микроорганизмы оказывают ростостимулирующее действие за счет выработки фитогормонов: ауксинов, гиббереллинов, цитокининов, абсцизиновой кислоты.

Бактерии, стимулирующие рост растений (Plant Growth Promoting Bacteria – PGPB), относятся к различным группам, в том числе они встречаются среди *Azospirillum*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Gluconacetobacter*, *Paenibacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Agrobacterium*. Ассортимент и интенсивность синтеза фитогормонов, обнаруженных в различных микроорганизмах, различен. Так, ауксины были обнаружены у *Azospirillum*, *Pseudomonas*, у нескольких видов *Bacillus* (Shao et al., 2015), *Sphingomonas sp.* (Khan et al., 2014) и *Pseudomonas* (Tabatabaei et al., 2016), цитокинины - у *Azotobacter* (Jnawali et al., 2015), *Pseudomonas* (Großkinsky et al., 2016) *Rhizobium sp.* (Sabat et al., 2014), *Pantoea agglomerans* (Omer et al., 2004) и *Bacillus subtilis* (Sabat et al., 2014), гибберелины – у *Proteus* (Karadeniz et al., 2006), *Streptomyces sp.* (Rashad et al., 2015) *Bacillus sp.* (Radhakrishnan et al., 2016) абсцизовая кислота – у *Azospirillum brasilense* (Castillo et al., 2015), *Sphingomonas sp.* (Khan et al., 2014) жасмоновая кислота – у *Achromobacter xylosoxidans* и *Bacillus pumilus* (Forchetti et al., 2007), салициловая кислота – у *Pseudomonas aeruginosa* (De Meyer et al., 1999).

Присутствие ризосферных микроорганизмов в почве способствует изменению продукции собственных гормонов у растений. При использовании *Bacillus subtilis* SYST2, продуцента летучих органических соединений, в качестве стимулятора роста томатов приводило к значительному увеличению

биомассы растений; увеличению фотосинтеза и эндогенного содержимого гиббереллина, ауксина и цитокинина, в то время как отмечалось снижение уровней этилена (Tahir et al., 2017).

Одни из наиболее изученных фитогормонов, в большом количестве обнаруживаемых среди метаболитов микроорганизмов, – ауксины, представляющие собой семейство производных индола, в котором заместителями при C₃ являются остатки низкомолекулярных органических кислот (уксусной, масляной, молочной и др.) или соответствующих альдегидов и других производных карбоновых кислот (Чеботарь и др., 2009). К основным функциям этих фитогормонов относятся: контроль клеточного цикла, стимуляция роста клеток растяжением, контроль полярности развития растительного организма, фото- и гравитропические реакции, стимуляция закладки боковых и придаточных корней, стимуляция закладки и развития латеральных органов в апикальной меристеме побега (Розов и др., 2013).

Синтез ауксинов у бактерий – процесс, зависящий от источников углерода и азота, от температуры и pH среды, а также от присутствия в среде триптофана. Было показано, что на среде с добавлением триптофана синтез ауксинов многократно усиливается.

Известно, что ауксины синтезируются фитопатогенными бактериями (Kunkel, Harper, 2018) и процесс патогенеза сопряжен со значительным выделением ауксинов в окружающую среду (ризосферу растений), что нарушает гормональный статус растений. Было выявлено, что четыре штамма *Pseudomonas*, не являющиеся патогенными для растений, и характеризующиеся повышенным синтезом ауксинов, достоверно ингибировали прорастание семян пшеницы и существенно влияли на α-амилазную активность (Tabatabaei et al., 2016). В тоже время многими авторами было показано, что высокий уровень синтеза ауксинов ризосферными бактериями положительно влияет на прорастание семян и клубней, фотосинтетическую активность, и в конечном счете, на урожайность (Ludwig-Müller, 2015). Из ризосферы пшеницы были выделены

засухоустойчивые ризобактерии рода *Bacillus*, *Enterobacter*, *Moraxella* и *Pseudomonas*, отличающиеся повышенным синтезом ауксина. В горшечных опытах было показано, что использование *Bacillus amyloliquefaciens* S-134, выделяющих индолил-3-уксусную кислоту в количестве 25,9 мкг/мл, стимулировало рост пшеницы и давало прибавку урожайности на уровне 34% (Raheem et al., 2018).

Стимулирующее действие многих PGPB традиционно связывают с тремя основными механизмами: продукцией ими фитогормонов, регулирующих рост растений, повышением под их влиянием доступности для растений элементов питания и воды, защитой растений от болезней. Эти свойства могут проявляться как по отдельности, так сочетаться у одного вида, при этом в различных условиях (состав почвы, температура, pH) превалируют разные механизмы. Примером такого множественного сочетания являются представители рода *Pseudomonas* и *Bacillus*. Различными авторами отмечается как выделение различных растительных гормонов и регуляция фосфорного питания и гидрологических режимов в почве, так и прямое антагонистическое действие посредством синтеза антибиотиков (Asaf et al., 2017).

Полезные свойства ризосферных бактерий проверяют на различных культурах: как пропашных, так и овощных, и тепличных. Большое количество работ посвящено исследованиям биологической эффективности бацилл. Было показано, что бактерии рода *Bacillus* при инокуляции семян пшеницы закрепляются в ризосфере и даже способны существовать и размножаться в эндофитном состоянии (Хамова и др., 2016). В большом числе лабораторных экспериментов показано, что биопрепараты на основе бактерий рода *Bacillus* способствуют удлинению корней и стеблей пшеницы, увеличивают энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян, а также фотосинтетическую активность растений (Титова, Антипчук, 2009).

Механизмы ростостимулирующего действия биопрепаратов на основе бацилл имеют различную этимологию. Во многих случаях отмечают улучшение поглощения фосфора растениями, а также синтез ауксинов

(Wahyudi et al., 2011). Интересен опыт пакистанских исследователей, которые, изучив несколько штаммов рода *Bacillus*, обладающих такими признаками, как повышенный синтез АСС-деаминазы (ингибитора синтеза этилена) и способность солюбилизовать фосфат, обнаружили, что наличие сразу двух этих признаков у исследуемого штамма существенно увеличивает ростостимулирующее действие на пшеницу при инокуляции семян, что проявляется в удлинении корней, стеблей и увеличении урожайности.

Большинство исследователей регистрируют подавление развития и распространенности корневых гнилей при инокуляции семян пшеницы биопрепаратами на основе бацилл, а также при опрыскивании растений пшеницы биопрепаратами в процессе вегетации. В исследовании биологической эффективности биопрепаратов против комплекса болезней яровой пшеницы специалистами Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений были использованы сразу 11 препаратов: Фитоспорин-М (*Bacillus subtilis* 26 Д, *B. subtilis* ВНИСХМ 128), Гамаир, СП (*B. subtilis* М-22 ВИЗР), Бактофит, СК (*B. subtilis* ИПМ 215), БисолбиСан, Ж (*B. subtilis* Ч-13), Бактрил, СП (*B. subtilis* 132 ВНИИСХМ), Оргамика С, Ж (*B. amyloliquefaciens* OPS-32), Елена, Ж (*Pseudomonas aureofaciens* ИБ51), Псевдобактерин-2, Ж (*Ps. aureofaciens* BS 1393), Агат-25К, ТПС (*Ps. aureofaciens* Н 16 и продукты метаболизма), Бинорам, Ж (*Ps. fluorescens*), Триходермин Нова ПС (*Trichoderma viride* 4097). Инокуляция семян биопрепаратами увеличивала лабораторную всхожесть, длину стеблей и корешков. Было установлено, что все изученные микробиологические препараты снизили зараженность семян инфекцией в разной степени в зависимости от инфицированности зерна патогенной микобиотой. В полевых испытаниях наибольшую эффективность показали Фитоспорин-М, Оргамика С, Ж как при протравливании семян, так и при опрыскивании вегетирующих растений. Снижение распространенности и развития различных болезней составило 65-96% (Гришечкина, Долженко, 2017).

Кроме официально зарегистрированных биопрепаратов, исследованиям подвергаются также новые препараты на основе оригинальных штаммов. На базе аборигенных штаммов бактерий антагонистов *Bacillus subtilis* BZR 336 и *Bacillus subtilis* BZR 517 были разработаны белорусские опытные образцы биопрепаратов для защиты озимой пшеницы от фузариоза и других болезней. Показано, что применение этих биопрепаратов достоверно снижает распространенность и развитие корневых гнилей и желтой листовой пятнистости, а также дает прибавку урожая на уровне 25-48% (Томашевич и др., 2023).

На основе штамма *Bacillus amyloliquefaciens* ВКПМ В-11008 был создан и апробирован новый биопрепарат бацизулин. Внесение жидкого биопрепарата в почву вызывало увеличение ферментативной активности, стимулировало нитрогеназную активность и способствовало мобилизации фосфора из его труднодоступных органических и неорганических соединений. Биопрепарат также показал высокую биологическую активность против различных корневых гнилей и возбудителей пятнистостей (Сираева, 2012).

На основе смеси штаммов *Bacillus amyloliquefaciens* ВКПМ В-10643 и *Bacillus subtilis* ВКПМ-10641 был разработан лабораторный образец бактериального препарата для испытаний против корневых гнилей пшеницы в условиях Западной Сибири и Северного Казахстана. Биологическая эффективность в отношении корневых гнилей в зависимости от климатической зоны колебалась от 12,5 до 66,7%, прибавка урожая также была существенной – от 13,9 до 74,6% (Коробов и др., 2015).

Комплексный биопрепарат на основе двух штаммов *Bacillus amyloliquefaciens* и *Bacillus subtilis* при испытаниях его в качестве протравителя семян яровой пшеницы показал высокую эффективность против возбудителей корневых гнилей, снижая распространенность и развитие болезни в 1,1-3,9 раза в наиболее чувствительную фазу развития – выход в трубку (Коробов и др., 2014).

Показано защитное действие биопрепаратов на основе бацилл при выращивании пшеницы в условиях стресса. Так, инокуляция семян яровой пшеницы микробными ассоциациями на основе выделенных из ризосферы бактерий рода *Bacillus* и *Pseudomonas* способствовала повышению урожайности и увеличению содержания протеина в зерне по сравнению с контролем на фоне повышенного содержания Zn и Cd в почве (Казарова и др., 2010). Применение Альбита (на основе культуры клеток *Bacillus megaterium*) способствовало получению дополнительного урожая озимой пшеницы в условиях минимальных доз внесения удобрений и низкой влажности, то есть повысило устойчивость к засухе (Каргин, и др.,–2012, Каргин и др., 2013).

Применение баковых смесей гербицидов с Альбитом (на основе *Bacillus megaterium*) позволяло снять эффект «гербицидной ямы» на зерновых, при этом увеличивалась урожайность и качество зерна благодаря усилению стрессоустойчивости растений (Алехин, 2014).

Биопрепараты на основе бацилл прочно вошли в повседневную практику агрономов, поэтому интересны результаты исследований различных сочетаний биопрепаратов с химическими фунгицидами, стимуляторами роста и удобрениями как в комплексных схемах, так и в качестве баковых смесей.

В полевых опытах, поставленных специалистами Башкирского НИИ сельского хозяйства, провели испытания различных сочетаний биопрепаратов с органическими удобрениями и стимуляторами роста, обрабатывая ими семена яровой пшеницы. Во всех вариантах с биопрепаратами наблюдали высокий уровень полевой всхожести, наибольшую прибавку урожая показал Фитоспорин М (на основе *Bacillus subtilis* 26Д) + Гуми-90, при этом обработка Фитоспорином без гуминовых кислот показала прибавку урожайности на уровне системного фунгицида. При некорневом внесении препарата Альбит (на основе *Bacillus megaterium*) с добавлением Гуми-30 наблюдали прибавку урожайности мягкой яровой пшеницы на 21,6% и увеличение содержания клейковины на 20,9% (Харитоновна, 2012).

Предпосевная обработка семян пшеницы биопрепаратом Агрика (на основе *Bacillus subtilis* Б-04) совместно с микроэлементами (Se, Mo, Mn, B, Co) способствует увеличению энергии прорастания семян по сравнению с контрольным вариантом на 7-8%, лабораторной всхожести на 2-8%, длины ростков и корешков на 32 и 28%, соответственно, при этом результаты обработки только Агрикой были сопоставимы с обработкой смесью микроэлементов без биопрепаратов (Корягин, 2014).

Комплексные исследования, проведенные на базе Казанского ГАУ, показали эффективность использования биоудобрения Бактофосфин на основе *Bacillus mucilaginosus*, как в чистом виде, так и в смеси с микроудобрениями (ЖУСС-1 и ЖУСС-2) и стимуляторами роста (Гуми-90). Прибавка урожайности яровой пшеницы составила от 5 до 19,7% в разных вариантах (Хузина, Габдрахманов, 2009).

Большинство исследователей в качестве основного критерия эффективности применения того или иного биопрепарата выбирают урожайность растений, которая в случае пшеницы может быть выражена как масса 1000 зерен (в случае лабораторных экспериментов), так и в традиционной форме. Еще одним существенным показателем перспективности препарата является его рентабельность. Даже при сравнительно низкой прибавке урожая, экономическая эффективность от использования биопрепаратов может быть существенной, так как при этом зачастую улучшается качество зерна и повышается его классность.

Использование минеральных удобрений, обработанных биопрепаратом «БисолбиФит» на основе *Bacillus subtilis* Ч-13, позволило получить прибавку урожая ячменя в размере 13%, а озимой пшеницы – 15%, при этом рентабельность применения таких комплексных удобрений составила 61 и 69%, соответственно (Завалин и др., 2012).

Обработка биопрепаратами Гамаир (*Bacillus subtilis* М-22) и Бактофит (*Bacillus subtilis* ИМП-215) семян озимой пшеницы существенно повышала энергию прорастания, лабораторную всхожесть, длину проростков и корней.

При сравнительно низкой эффективности против корневых гнилей была отмечена прибавка урожая в 5-7%.

Масштабное исследование антагонистической активности 23 эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* против возбудителей фузариоза яровой пшеницы было проведено в Башкирском государственном аграрном университете. В результате было выявлено, что наибольшей эффективностью против фузариоза колоса обладает штамм *Bacillus subtilis* 11Н. Обработка семян пшеницы препаратом спор этого штамма снижает, в среднем, на 42% распространение фузариозной инфекции зерна и на 18% повышает урожайность по сравнению с контролем, что не уступает по биологической эффективности применению традиционных химических фунгицидов (Кутлубердина, Хайруллин, 2010).

Исследования различных протравителей против комплекса корневых гнилей озимой пшеницы в Ставрополье показали, что препарат Алирин-Б, показывая биологическую эффективность на уровне традиционных химических протравителей, обладает при этом наибольшей экономической эффективностью (*Bacillus subtilis* В-10 ВИЗР). Качество зерна также существенно улучшилось по сравнению с контролем без обработки (Стамо, Кузнецова, 2012).

Не меньшее внимание уделялось исследованиям таких распространенных ризосферных бактерий, как *Pseudomonas*. Если бациллы показывали высокую эффективность как в качестве протравителей, так и при опрыскивании растений, то биопрепараты на основе псевдомонад проявляют большую активность против корневых гнилей в случае инокуляции семян культурой клеток, чем при опрыскивании растений. Эффективность псевдомонад против листостебельных болезней пшеницы выражена слабее, чем у бацилл, что не мешает биопрепаратам на основе *Pseudomonas* занимать достойное место среди эффективных биопрепаратов и стимуляторов роста растений.

При исследовании биологической эффективности биопрепаратов Елена (*Pseudomonas aureofaciens*, штамм ИБ51) и Псевдобактерин-2 (*Ps. aureofaciens*, штамм BS 1393) было установлено, что использование только протравливания семян биопрепаратами лучше сдерживает развитие и распространенность болезней пшеницы, чем только опрыскивание во время вегетации. Прибавка урожая яровой пшеницы составляла от 1,3 ц/га в Воронежской и Волгоградской области до 5,5 ц/га в Краснодарском крае. В ходе исследований также было показано, что при использовании биопрепаратов улучшается качество зерна: повышается содержание и качество клейковины, улучшается натура зерна (Кузина и др., 2013).

Обработка вегетирующих растений мягкой яровой пшеницы на юге Западной Сибири биопрепаратами Планриз (*Pseudomonas fluorescens* AP-33) и Псевдобактерин-2 (*Ps. aureofaciens* BS 1393) показала низкую биологическую эффективность в отношении мучнистой росы и несколько большую – в отношении бурой ржавчины, при этом прибавка урожая оставалась на уровне необработанного контроля и существенно ниже, чем в вариантах с химическими фунгицидами (Доронин, Кривошеева, 2010).

В Ставропольском крае Псевдобактерин-2 внедрен в интегрированную защиту озимой пшеницы и ячменя в качестве протравителя и для опрыскивания в фазу кущения. Биологическая эффективность защиты от корневых гнилей оценивается в среднем от 77,5 до 84%. Учитывая ростостимулирующее действие Псевдобактерина-2 при инокуляции семян и невысокую стоимость относительно химических фунгицидов, этот биопрепарат показал высокую экономическую эффективность (Коваленков и др., 2008). Применение Псевдобактерина-2 против мучнистой росы и бурой ржавчины на пшенице методом обработки вегетирующих растений снизило распространенность и развитие болезней, но никак не повлияло на прибавку урожая (Доронин, Кривошеева, 2007).

Механизм защитного действия биопрепаратов на основе *Pseudomonas* объясняется синтезом различных метаболитов, в том числе 1-

аминоциклопропан-1-карбоновой кислоты-дезаминазы (АСС-дезаминазы), ингибитора синтеза этилена (Шапошников и др., 2015), фунгистатических метаболитов, солубилизаторов фосфора.

В качестве индикатора повышения стрессоустойчивости растений многие авторы выделяют способность псевдомонад синтезировать АСС-дезаминазу, которая участвует в снижении концентрации стрессового фитогормона этилена, биосинтетическим предшественником которого является АСС.

В лабораторных опытах в условиях повышенной солености почвы ростостимулирующее действие на растения пшеницы оказывали 3 штамма микроорганизмов: *Pseudomonas putida* (N21), *Pseudomonas aeruginosa* (N39) и *Serratia proteamaculans* (M35). Наибольшей активностью обладал *Pseudomonas putida* (N21). Инокуляция семян пшеницы приводила к усилению энергии прорастания, увеличению длины корешков и стеблей, урожайности и массы 100 зерен. С помощью генетических анализов было выявлено, что эти штаммы синтезируют 1-аминоциклопропан-1-карбоновой кислоты-дезаминазу, что приводит к уменьшению синтеза индуцированных стрессом (соли) ингибирующих уровней этилена (Коршунова и др., 2021; Zahir et al., 2009).

Скрининг ризобактерий (PGPR) по признаку усиленного синтеза 1-аминоциклопропан-1-карбоновой кислоты-дезаминазы (АСС-дезаминазы), ингибитора синтеза этилена показал, что этот признак может вполне быть ответственным за ростостимулирующую активность бактерий, обитающих в ризосфере. Так, штамм *Pseudomonas fluorescens* (ACC50) проявлял как наибольшую способность к синтезу АСС-дезаминазы, так и наилучшую ростостимулирующую активность при инокуляции семян пшеницы и выращивании в лабораторных и полевых условиях (Shaharoon et al., 2007).

В Пакистане исследовали влияние четырех штаммов ризосферных бактерий: *Pseudomonas putida* W2, *Enterobacter cloacae* W6, *Serratia ficaria* W10 и *Pseudomonas fluorescens* W17 на стрессоустойчивость пшеницы в

лабораторных и полевых опытах на засоленной почве. Показано, что все штаммы обладают ростостимулирующей способностью, которая проявляется тем сильнее, чем выше соленость почвы. Наибольшей эффективностью обладали штаммы рода *Pseudomonas*, по-видимому, из-за способности синтезировать АСС-дезаминазу, ингибитор синтеза этилена (Nadeem et al., 2013).

Известно, что *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, отличается повышенным синтезом фермента АСС-дезаминазы, а также является продуцентом ауксинов. Способность данного штамма повышать стрессоустойчивость пшеницы проверяли на фоне избыточной концентрации ионов Al^{3+} . В результате лабораторных экспериментов по инокуляции семян пшеницы культурой клеток продуцента был выявлен защитный эффект и ростостимулирующее действие, но повышенной концентрации АСС-дезаминазы и ауксинов в корнях и ризосфере растений не обнаружили, следовательно, механизм усиления стрессоустойчивости растений не связан с продукцией этих метаболитов (Шапошников и др., 2015).

Инокуляция семян пшеницы штаммом *Pseudomonas putida* АКМР7 повышала устойчивость растений к повышенным температурам. Инокуляция уменьшает повреждение мембраны и активность нескольких антиоксидантных ферментов, таких как SOD, APX и CAT при тепловом стрессе. Инокуляция улучшала уровни клеточных метаболитов, таких как пролин, хлорофилл, сахара, крахмал, аминокислоты и белки по сравнению с неинокулированными растениями (Ali et al., 2011).

Не всегда защитный эффект, наблюдаемый в контролируемых лабораторных условиях, повторяется в полевых опытах. Так, из 15 штаммов, показавших отличные результаты в лабораторных опытах по инокуляции семян пшеницы: увеличение энергии прорастания, удлинение корней и стеблей, увеличение количества колосьев и массы 1000 зерен, уменьшение развития *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici*, только 1 штамм *Pseudomonas*

fluorescens МКВ37 показал такие же хорошие результаты в полевых испытаниях (Smyth et al., 2011).

Инокуляция семян пшеницы биопрепаратами на основе псевдомонад приводит к усилению роста корней и стеблей, увеличению энергии прорастания и, как следствие, увеличению урожая, особенно на фоне низких доз внесения фосфорных удобрений.

В научно-исследовательском центре исследований сельского хозяйства в Иране протестировали 4 штамма *Pseudomonas sp.*, включая *Pseudomonas fluorescens* 153, *P. fluorescens* 169, *P. putida* 4 и *P. putida* 108 на трех разных фонах внесения фосфорных удобрений. Наибольшая прибавка урожая пшеницы (37%) наблюдалась при обработке семян *P. putida* 108 на фоне 50% внесения фосфора.

Инокуляция семян пшеницы культурами клеток *Azospirillum brasilense* Az1 и Az2, а также *Pseudomonas fluorescens* Pf показала, что данные штаммы хорошо сохраняются в ризосфере взрослых растений и оказывают ростостимулирующее действие на различных фонах внесения азотных и фосфорных удобрений. Протравливание семян *Pseudomonas fluorescens* Pf позволило повысить урожайность на 16% в полевых опытах (Naiman et al., 2009).

Из высотной ризосферной почвы в Утаракхандских Гималаях был выделен штамм *Pseudomonas lurida* M2RH3 (MTCC 9245), обладающий ростостимулирующим действием на пшеницу при низких температурах. Инокуляция семян способствовала сольюбилизации фосфора, положительно влияла на параметры роста и потребления питательных веществ растениями (Selvakumar et al., 2011).

Мало информации в литературе встречается про такой вид ризосферных бактерий, как *Sphingomonas*. Известно, что бактерии этого рода обладают ростостимулирующим действием на растения пшеницы, сои, кукурузы. В лаборатории НИИ сельскохозяйственной микробиологии Горского ГАУ из 316 изолятов было выделено несколько перспективных штаммов PGPR. Среди

них хорошей ростостимулирующей активностью выделялся *Sphingomonas spiritivorum* 38-22, обеспечивший прибавку урожая на уровне 20,7% (Пухаев и др., 2009).

В процессе изыскания новых активных микроорганизмов, антагонистов грибов рода *Fusarium* из ризосферы пшеницы был выделен штамм *Sphingomonas* S11, а из филосферы – *Bacillus* B1. Как показали лабораторные опыты, *Sphingomonas* S11 обладал большей антагонистической активностью против восьми различных штаммов *Fusarium*, вызывающих болезни пшеницы. Опыты по инокуляции культурой клеток *Sphingomonas* S11 семян пшеницы также подтвердили ростостимулирующее и антагонистическое действие (Wachowska et al., 2013).

В Корее исследовали роль *Sphingomonas* sp. LK11, который продуцирует фитогормоны и синтезирует трегалозу, в улучшении роста растений сои в результате осмотического стресса, вызванного засухой. Результаты показали, что инокуляция растений сои с помощью *Sphingomonas* sp. LK11 значительно увеличила длину растения, сухую биомассу, фотосинтетические пигменты, глутатион, аминокислоты (пролин, глицин и глутамат) и первичные сахара по сравнению с контрольными растениями при различных условиях засухи (Asaf et al., 2017).

1.4 Фитосанитарное состояние посевов как один из основных факторов, ограничивающий получение высококачественного зерна

Фитосанитарное состояние посевов определяет систему защиты растений. На территории Северо-Западного региона складываются особые климатические условия, способствующие развитию специфического комплекса вредителей, болезней и сорных растений.

Болезни листьев могут привести к значительным потерям урожая и качества зерна пшеницы. Они могут по-разному влиять на скорость роста урожая, изменяя динамику азота (N) и накопление углеводов в зерне.

Соотношение между накоплением азота и углеводов определяет содержание белка в зерне, что влияет на концентрацию клейковины и реологические свойства пшеничной муки (Gaju et al., 2014).

Особо опасными болезнями, влияющими на производство пшеницы и качество зерна, являются облигатные паразиты (*Blumeria graminis f. sp. tritici*, *Puccinia graminis f. sp. tritici*, *Puccinia triticina*, *Puccinia striiformis f. sp. tritici*) и микроорганизмы, сохраняющиеся в растительных остатках (*Pyrenophora tritici-repentis*, *Zymoseptoria tritici*, *Parastagono spora nodorum*, *Cochliobolus sativus*, виды *Fusarium*). Ежегодные общемировые потери урожая зерна из-за возбудителей болезней составляют более 18%. Несмотря на принятые меры по борьбе с болезнями, потери урожая остаются на уровне 13% от общемировых посевных площадей (Jevtić et al, 2017).

Бурая ржавчина пшеницы вызывается *Puccinia triticina* Ericks. (син. *P. recondita* Rob. Ex. Desm. f. sp. tritici, *P. rubigo-vera tritici* (Ericks.) Carleton, *P. rubigo-vera* (DC) Wint. и *P. triticina* (Ericks). Урединоспоры коричневые, круглые, диаметром 16–20 мкм. Расы листовой ржавчины идентифицируются с использованием стандартного дифференциального набора сортов и линий с идентифицированными *Lr*-генами. В мире насчитывается более 200 рас этого гриба (Aboukhaddour et al., 2020).

Желтая ржавчина в мире известна как полосовая ржавчина и является одной из самых вредоносных болезней в Аргентине, Чили, Китае, Индии, Англии, Кении, северо-востоке Европы, Мексике и Уругвае. Потери урожая, вызванные этой ржавчиной, могут составлять от 5 до 50% в зависимости от года и региона. Болезнь вызывается *Puccinia striiformis* Westend. (syn. *P. glumarum* Ericks and Henn). Желтая ржавчина может заразить все надземные части растения, но чаще поражаются листья. Симптомы этой ржавчины сильно отличаются от двух других пшеничных ржавчин. На листьях легко проследить линейное образование уредий. Урединоспоры также образуются на чешуйках, а масса спор имеет желтый цвет (Figueroa et al., 2018).

Мучнистая роса - широко известное заболевание пшеницы, распространенное во всем мире. Потери урожая на восприимчивых сортах могут достигать 40-55%, а раннее заражение всходов может вызвать их гибель (Li Z. et al., 2014).

Характерные симптомы болезни – появление белого налета на листьях с конидиальным спороношением, иногда покрывающего почти всю площадь листа. На стеблях, колосьях и осях встречаются небольшие беловатые удлиненные пятна. Фактически, при тяжелых инфекциях могут быть заражены все надземные части растения. Зараженные растения выглядят слабыми и дают щуплые зерна. На поздних стадиях инфекции можно наблюдать наличие клейстотеций в виде маленьких черных телец (точек), переплетенных внутри светлого мицелия. Конидии недолговечны. Они прорастают в широком диапазоне температур, но в идеале при 18–22 ° С и относительной влажности 60–100%. По мере того, как инфекция устанавливается, необходимы засушливые периоды для обильного и непрерывного образования спор-(Li Z. et al., 2014).

Септориоз пшеницы вызывают *Parastagonospora nodorum* (Berk.) Quaedvl., Verkley & Crous, *Zymoseptoria tritici* (Roberge ex Desm.) Quaedvl. & Crous (*Mycosphaerella graminicola* (Fuckel) J. Schröt., *Septoria graminum* Desm.). Эти возбудители по отдельности могут вызвать потерю урожая примерно на 30–40% в зависимости от страны и года. Мировой убыток оценивается в 1 миллиард долларов США, где эти болезни вызывают ежегодные потери более 1%. *Septoria avenae* Frank. – относительно новый малораспространенный вид, идентифицированный на пшенице, но при сильном поражении растений, может вызвать существенные потери урожая (Figueroa et al., 2018).

Темно-бурую пятнистость листьев пшеницы, а также корневую гниль растений может вызвать гриб *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoem. (син. *Drechslera sorokiniana* (Sacc.) Subram.), телеоморфа *Cochliobolus sativus* (Ito et Kurib.) Основной источник инфекции – инфицированные семена, а вторичное

распространение болезни происходит конидиями, распространяемыми воздушными течениями (Mishra et al., 2014).

Концепция управления фитосанитарным состоянием агроэкосистем предполагает применение мероприятий, направленных на подавление вредителей, болезней и сорных растений до экологически безопасного уровня (экономический порог вредоносности) на основе всех известных методов с учетом принципов оптимальности экономической эффективности и экономической безопасности (Павлюшин и др., 2022).

Таким образом, в обзоре литературы проанализировано современное состояние проблемы применения штаммов ассоциативных ризобактерий из группы PGPR (*Plant Growth-Promoting Rhizobacteria*) в посевах различных сельскохозяйственных культур, и в том числе зерновых. Анализ научных работ отечественных и зарубежных авторов показывает, что ризосферные бактерии оказывают положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных растений, особенно на фоне низких норм внесения минеральных удобрений, обладают выраженной биологической эффективностью в отношении фитопатогенных микоорганизмов. Некоторые отдельные представители группы PGPR изучены довольно подробно, другие же, наоборот, лишь упоминаются в отдельных работах, что говорит только о недостаточной изученности этого вопроса, но не об отсутствии перспектив применения ризосферных бактерий в сельскохозяйственной практике.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Материалы исследований

Объектом исследования служили сорта мягкой пшеницы яровой *Triticum aestivum* L.: Сударыня, к-66407 (оригинаторы: РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», «ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ») и Trizo, к-64981 (оригинатор: Deutsche Saatveredelung AG) из отдела генетических ресурсов пшеницы ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» (ВИР).

В качестве инокулянтов были использованы штаммы ассоциативных ризобактерий: *Bacillus subtilis* 124-11; *Sphingomonas* sp. K1B; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 из Ведомственной коллекции полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии» (ФГБНУ ВНИИСХМ). Штамм *Bacillus subtilis* 124-11 активно ингибирует рост фитопатогенных грибов (Новикова И.И., 2005); *Sphingomonas* sp. K1B – гиперпродуцент ауксинов; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – продуцент ауксинов, содержит АЦК дезаминазу, ингибирует рост фитопатогенных грибов (Кравченко и др., 2003).

2.2 Схема и методы проведения исследований

Исследования проведены на опытном поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР». Период проведения исследований: 2019, 2021–2022 гг.

Микрополевые опыты были заложены в четырехкратной повторности методом организованных повторений. Площадь опытной делянки для одного варианта опыта составила 1,0 м² (общая площадь – 32 м²), размещение делянок систематическое. Предшественник – картофель. Агротехника возделывания

пшеницы, рекомендованная для зерновых культур ВИР. Посев проводили рядовым способом с междурядьями 15 см и расстоянием в ряду 1...2 см при глубине заделки семян 5...6 см (300 зерен/м²) (Градчанинова и др., 1985).

Схема опыта при анализе эффективности штаммов ассоциативных ризобактерий при возделывании мягкой пшеницы (сорта Сударыня, к-66407; Trizo, к-64981) включала следующие варианты:

1. Контроль (без обработки);
2. *Bacillus subtilis* 124-11 (инокуляция семян и опрыскивание растений культуральной жидкостью бактерий);
3. *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (инокуляция семян и опрыскивание растений культуральной жидкостью бактерий);
4. *Sphingomonas* sp. K1B (инокуляция семян и опрыскивание растений культуральной жидкостью бактерий).

Двукратное опрыскивание пшеницы осуществлено в фазы выхода в трубку и начала цветения. Норма расхода рабочей жидкости (10⁹ кл/мл) при инокуляции семян – 2 мл суспензии на 10 г семян, при опрыскивании растений – 100 мл/м².

Определение фитометрических показателей проводили согласно Методическим указаниям по изучению мировой коллекции пшеницы (Дорофеева и др., 1977; Градчанинова и др., 1985; Мережко и др., 1997); Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1989).

В фазу развития зародышевого побега осуществляли оценку влияния штаммов ассоциативных ризобактерий на общепринятый показатель – полевою всхожесть (%). Полевою всхожесть определяли по формуле:

$$P_{\varepsilon} = \frac{n}{N} 100,$$

где n – число растений на 1 м^2 во время полных всходов, N – число высеванных семян на 1 м^2 .

В фазы колошения-цветения осуществляли лабораторный анализ комплекса фитометрических показателей пшеницы: продуктивной и общей кустистости (шт.), фазы онтогенеза (балл, по шкале Цадокса (Эукарпия), площади флагового и предфлагового листьев (см^2), высоты растений (см), длины колоса (см), числа колосков в колосе (шт.), массы колоса (г.). Кроме того, определяли число и длину первичных корней (главного зародышевого корня, зародышевых и колеоптильных корней), отходящих от эпикотилия. Осуществляли учет числа и длины узловых (вторичных) корней пшеницы. Рассчитывали показатели массы корней и вегетативной части растений. Линейные размеры флаговых листьев оценивали, когда последний лист заканчивал свой рост и был отогнут от листового влагалища. С помощью коэффициента 0,7 вычисляли площадь флаговых и предфлаговых листьев.

Для проведения вышеперечисленных фитометрических измерений растения пшеницы были выкопаны согласно схеме опыта, приведенной в работе. В полевых условиях растения выкапывали осторожно, чтобы не повредить корни, с середины делянки, чтобы исключить краевой эффект. Почву с корнями удаляли, корни и нижнюю часть стеблей помещали в полиэтиленовый мешок, добавляли бумажную этикетку с номером делянки. В условиях лаборатории сразу вынимали растения из мешка, тщательно промывали корни и оставляли сушиться на несколько часов. В дальнейшем переходили к измерениям. Объем выборки по каждому варианту опыта составил 10-15 растений. Повторность измерений – двухкратная.

В фазу созревания (Ф91, стадия полной спелости) изучали структуру урожайности пшеницы по показателям: число колосков в колосе, шт.; длина колоса, см; масса колоса с зерном; число зерен в колосе, шт.; масса зерен с

колоса; масса 1000 зерен; число зерен и масса зерен в колоске колоса. Объем выборки по каждому варианту опыта составил 20-30 колосьев.

Потенциальную (биологическую) урожайность единичного растения пшеницы рассчитывали в соответствии с данными о продуктивной кустистости и массе зерен колоса одного растения (г/растение). Потенциальную урожайность сортов пшеницы $Y_{п}$ применительно к площади посева (т/га) определяли по продуктивной кустистости, массе зерен колоса и числу растений, высеянных на 1 м²: $Y_{п} = M_{к} K_{п} P_{п} 10000$, где: $M_{к}$ – масса зерен колоса одного растения (г), $K_{п}$ – продуктивная кустистость образца, $P_{п}$ – плотность посева (число растений на 1 м²).

Для определения комплекса массовых характеристик пшеницы использовали лабораторные весы: Adam HCB-123 с дискретностью 0,001 г.

Содержание хлорофиллов a , b во флаговых листьях пшеницы определяли спектрофотометрическим методом (Ермаков и др., 1987) с использованием спектрофотометра SPEKOL-11 (Carl Zeiss Jena).

Оценку степени поражения растений корневой гнилью проводили в лабораторных условиях в фазы кущения пшеницы (стадия 29, законченное кущение) и колошения-цветения (Ф59-Ф61) в соответствии с общепринятой шкалой: 1 – эпикотиль без поражения, 1-единичные пятна на эпикотиле; 2- сильное поражение; 3 – сильное поражение, растение погибло. В каждом варианте опыта оценивали по 10-15 растений. Развитие корневой гнили по вариантам опыта определяли по средневзвешенной величине степени поражения растений (Попов, 2011):

$$P_{б} = \frac{\sum(ab) 100}{AK}$$

где a – число растений с одинаковыми признаками поражения; b – соответствующий балл; A – число растений в учете (здоровых и больных); K – высший балл учетной шкалы.

Учет интенсивности развития возбудителей болезней листьев пшеницы был приурочен к следующим фазам и стадиям онтогенеза пшеницы: фаза

кущения пшеницы (Ф29, стадия – законченное кущение), флагового листа (Ф40, выход в трубку; Ф47, раскрытие последнего листового влагалища), колошения (Ф59, конец колошения), цветения (Ф61, начало цветения; Ф69, конец цветения), созревания (Ф76, молочная спелость зерна; Ф86 восковая спелость).

Интенсивность поражения флаговых и предфлаговых листьев пшеницы возбудителем мучнистой росы (*Blumeria graminis* Speer.) учитывали по общепринятому показателю – условной степени поражения растений (Гешеле, 1978), а также дополнительным показателям – числу и площади пятен с налетом (Колесников и др., 2021, 2022, 2023).

Поражение флаговых и предфлаговых листьев пшеницы возбудителем бурой ржавчины (*Puccinia recondita* Rob. ex Desm. f. sp. *tritici* Eriks.) учитывали по шкале Р.Ф. Петерсона (Гешеле, 1978), кроме того, использовали дополнительные фитопатологические параметры – число пустул на лист, площадь пустулы (Колесников и др., 2021, 2022, 2023).

Интенсивность поражения пшеницы возбудителем желтой ржавчины оценивали по общепринятой шкале Маннерса, и, кроме того, определяли показатели патогенеза: число пустул (суммарное на лист), число полос с пустулами, длину полос с пустулами, площадь пустулы и их число в полосе (Колесников и др., 2021, 2022, 2023).

Размер инфекционных структур возбудителей болезней, формируемых на листьях при патогенезе (пятна, пустулы и т.п.) определяли с помощью окулярного микрометра. Значения площади пустулы и пятен с налетом рассчитывали в предположении об их эллиптической форме с использованием выражения: $S_{п.м.} = m \cdot a \cdot b$, где a и b - значения полуосей эллипса (в линиях окулярного микрометра), m - масштабный коэффициент микроскопа (Колесников и др., 2021, 2022, 2023).

Алгоритм компьютерной обработки результатов исследования включал создание в системе MS Excel базы данных фитопатологических и

фитометрических показателей зерновых культур согласно вышеперечисленным вариантам опыта, конвертирование значений показателей в кодировочную таблицу IBM SPSS с последующей статистической обработкой (Колесников и др., 2022). С использованием методов описательной статистики по вариантам опыта были определены средние значения фитометрических и фитопатологических показателей посевов, стандартные ошибки и 95 %-ные доверительные интервалы для средних. Кроме того, в работе были использованы методы параметрического и непараметрического корреляционного анализа на основе расчета коэффициентов корреляции Пирсона и Спирмена.

2.3 Агрометеорологические и почвенные условия в годы проведения исследований

Опытное поле научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» имеет выровненный рельеф (Ленинградская обл., 59° 44' с. ш. 30° 24' в.д). Почвы дерново-слабоподзолистые, супесчаные и суглинистые по механическому составу, хорошо окультуренные. Основные агрохимические показатели почвы: водородный показатель солевой вытяжки $pH = 4,8$ (ГОСТ 26483-8); фосфор подвижный в пересчете на P_2O_5 (ГОСТ Р 54650-2011) 3455 ± 691 млн⁻¹ (мг/кг); калий подвижный в пересчете на K_2O (ГОСТ Р 54650-2011) $97,5 \pm 14,6$ млн⁻¹; органическое вещество (ГОСТ 26213-2021) $3,55 \pm 0,53\%$ (Колесников и др., 2023).

Климат Ленинградской области атлантико-континентальный, характеризуется умеренно холодной зимой и нежарким влажным летом при затяжной весне и осени. Характер погоды крайне неустойчив и изменчив. По количеству осадков Ленинградская область относится к зоне достаточного увлажнения, осадки вполне компенсируют возможное испарение. Количество экстремальных погодных условий (ураганные ветры, град, ливни, засухи) незначительно (Агроклиматические ресурсы..., 1971).

Данные по метеорологическим условиям периодов проведения полевых опытов (2019 г., 2021-2022 гг.), предоставленные агрометеорологическим отделом ВИР, приведены на рис. 1 и 2. Минимальные величины суммы температура воздуха и суммы осадков ($T_{\text{май}}=120,4\pm 13,6$ °С и $O_{\text{май}}=4,3\pm 0,1$ мм) выявлены в мае 2022 г. При этом в августе 2022 г. значения суммы температур и осадков были максимальными ($T_{\text{май}}=544,9\pm 53,6$ °С и $O_{\text{май}}=138,5\pm 12,3$ мм).

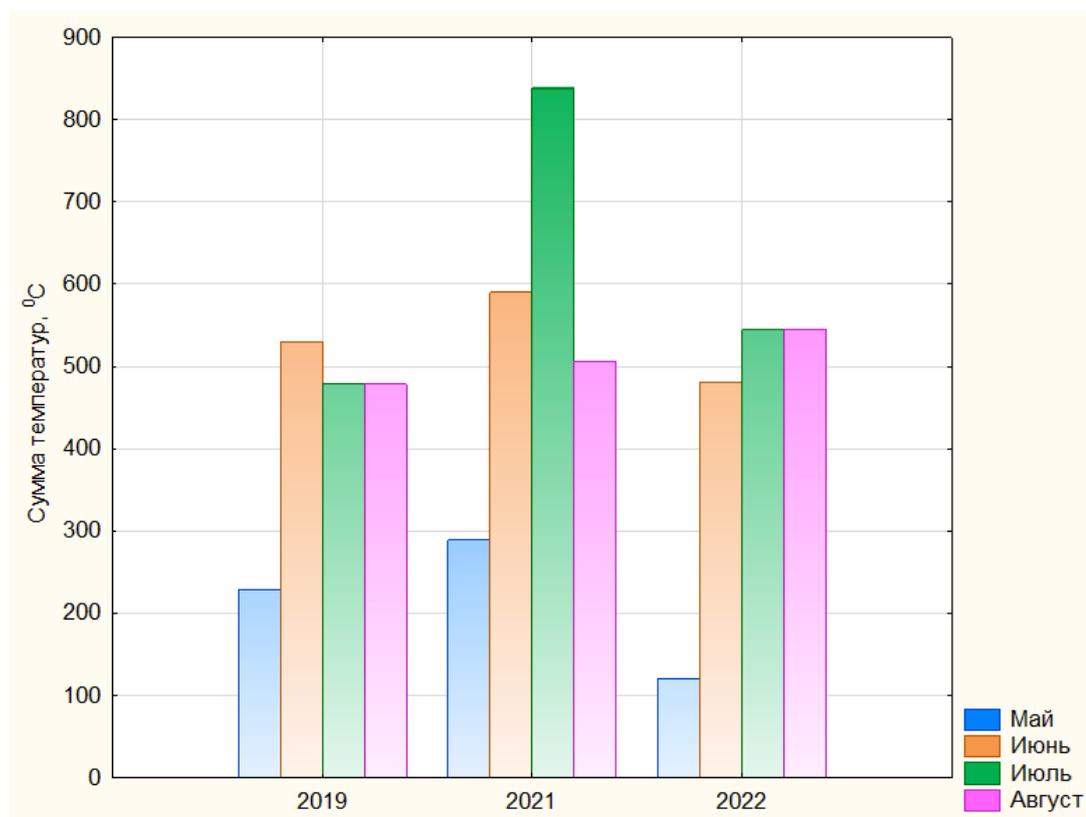


Рисунок 1 – Сумма температур в периоды вегетации мягкой пшеницы (2019, 2021, 2022 гг.)

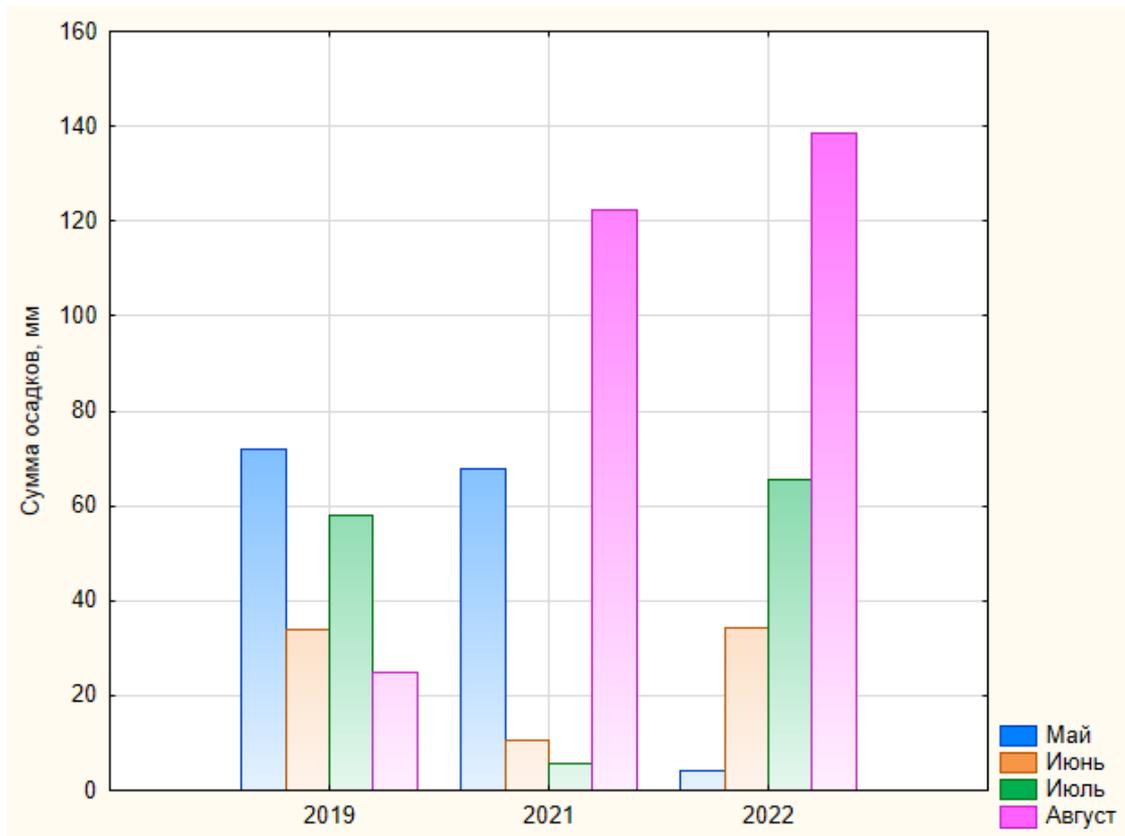


Рисунок 2 – Сумма осадков в периоды вегетации мягкой пшеницы (2019, 2021, 2022 гг.)

Гидротермический коэффициент, характеризующий тепловлагообеспеченность периодов вегетации мягкой пшеницы (Селянинов, 1928), был рассчитан по общепринятой формуле:

$$ГТК = \frac{W}{0,1T_{>10^{\circ}C}},$$

где $T_{>10^{\circ}C}$ – сумма средних суточных температур воздуха за период с температурами воздуха выше $10^{\circ}C$, W – количество осадков за тот же период.

Согласно данным рис. 3, максимальные значения тепловлагообеспеченности в июле и августе были выявлены в 2021 г. (степень увлажнения – достаточно влажно: $ГТК_{июль} = 1,9$; переувлажнение – $ГТК_{август} = 2,6$).

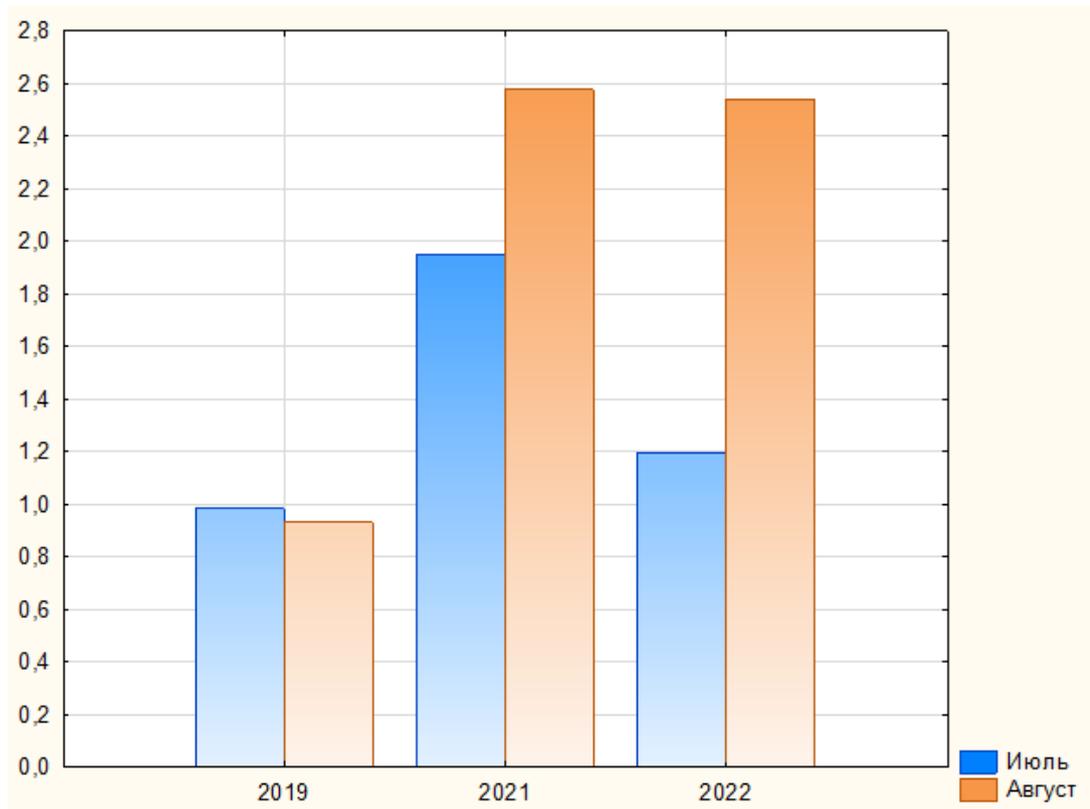


Рисунок 3 – Гидротермический коэффициент в периоды вегетации мягкой пшеницы (2019, 2021, 2022 гг.)

Данные по общему числу пятен на Солнце были предоставлены Королевской обсерваторией Бельгии (SILSO, World Data Center). Согласно рис. 4, в 2022 г. зарегистрировано максимальное число пятен на Солнце (среднегодовое значение – $N_{c.п.} = 83,1 \pm 8,3$ шт.; июль – $N_{c.п.} = 91,4 \pm 3,2$ шт.; август – $N_{c.п.} = 75,4 \pm 5,3$ шт.). Наименьшее число пятен на Солнце определено в 2019 г. (среднегодовое значение – $N_{c.п.} = 3,6 \pm 0,8$ шт.; июль – $N_{c.п.} = 0,9 \pm 0,06$ шт.; август – $N_{c.п.} = 0,5 \pm 0,03$ шт.).

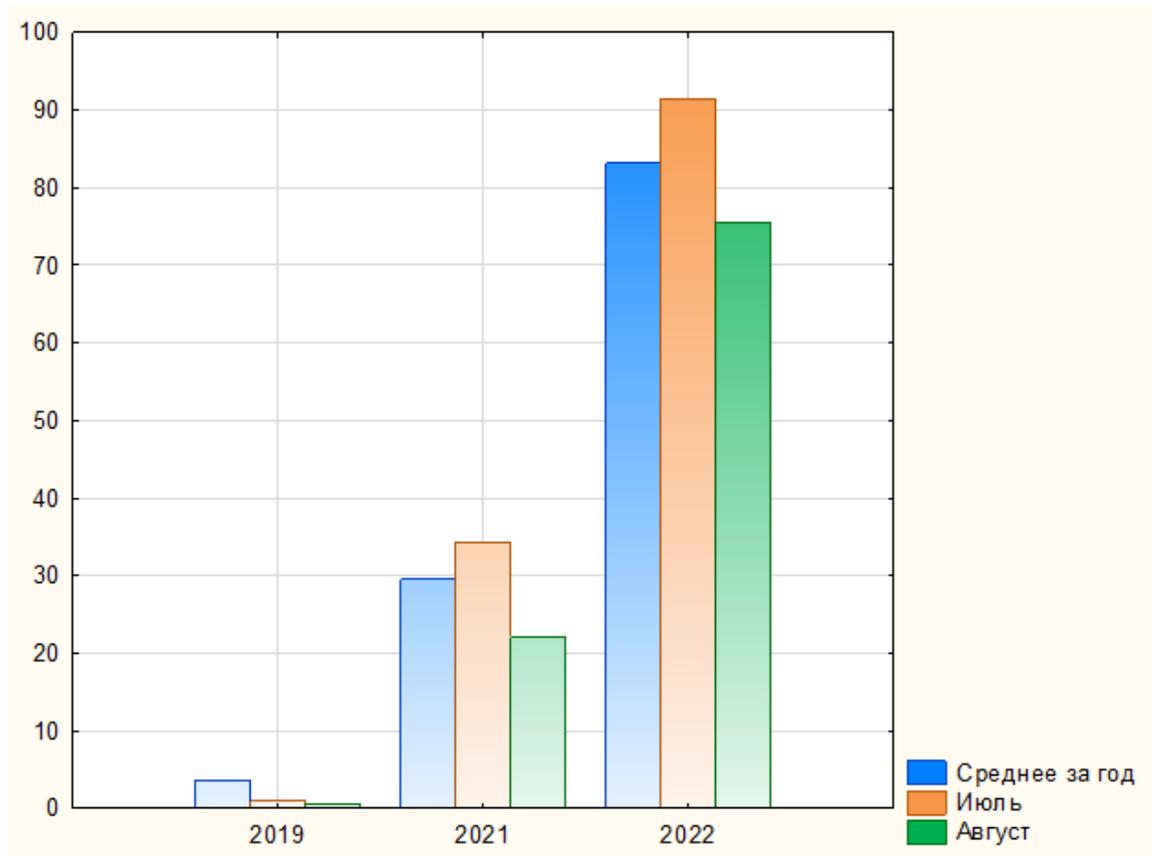


Рисунок 4 – Число пятен на Солнце в периоды вегетации мягкой пшеницы (2019, 2021, 2022 гг.) (WDC-SILSO, Royal Observatory of Belgium, Brussels)

ГЛАВА 3. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

3.1 Формирование продуктивности мягкой пшеницы при инокуляции семян и внекорневом опрыскивании растений штаммами ассоциативных ризобактерий

3.1.1 Полевая всхожесть пшеницы при применении ассоциативных ризобактерий

Полевая всхожесть пшеницы непосредственно связана с посевными качествами семян и определяет густоту посева. Динамика полевой всхожести семян P_c сортов Сударыня и Trizo в зависимости от года исследования приведена на рис. 5. Наибольшей отзывчивостью на применение штаммов ассоциативных ризобактерий в отношении указанного показателя в 2019 г. обладал сорт Trizo. Во всех вариантах опыта со штаммами ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем выявлен статистически достоверный рост P_c , но максимальное увеличение – при применении штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (на 29,3%).

В 2021 г. и 2022 г. на сорте Сударыня статистически достоверный рост P_c зарегистрирован в вариантах опыта с *Sphingomonas* sp. K1B (на 16,3% и на 26,6%) и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (на 19,7% и 19,4%). На сорте Trizo в 2021 г. и 2022 г. отмечен рост P_c во всех вариантах опыта, где применяли бактериальные штаммы: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 25,4% и 32,2%, *Sphingomonas* sp. K1B – на 23,8% и 30,2%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 19,5% и 7,0%.

Крайне низкая всхожесть мягкой пшеницы в 2022 г. была обусловлена минимальной суммой температур выше 10°C в мае со дня посева (11 мая) – $T_{\text{май}}=120,4^{\circ}\text{C}$ и минимальной суммой осадков в мае – $W_{\text{май}} = 4,3$ мм по сравнению с указанными метеопказателями 2019 г. и 2021 г.

В 2019 г. в среднем по двум вышеуказанным сортам пшеницы (рис. 6) зарегистрирован рост полевой всхожести семян (на 18,6%) только при применении штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, а в 2021 г. и 2022 г. –

во всех вариантах опыта со штаммами ассоциативных ризобактерий. В 2021 г. максимальное увеличение Π_c отмечено в вариантах опыта: «*Sphingomonas* sp. K1B» и «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» (на 19,6% и 20,0%), в 2022 г. – «*Bacillus subtilis* 124-11» (на 30,5%) и «*Sphingomonas* sp. K1B» (на 28,7%).

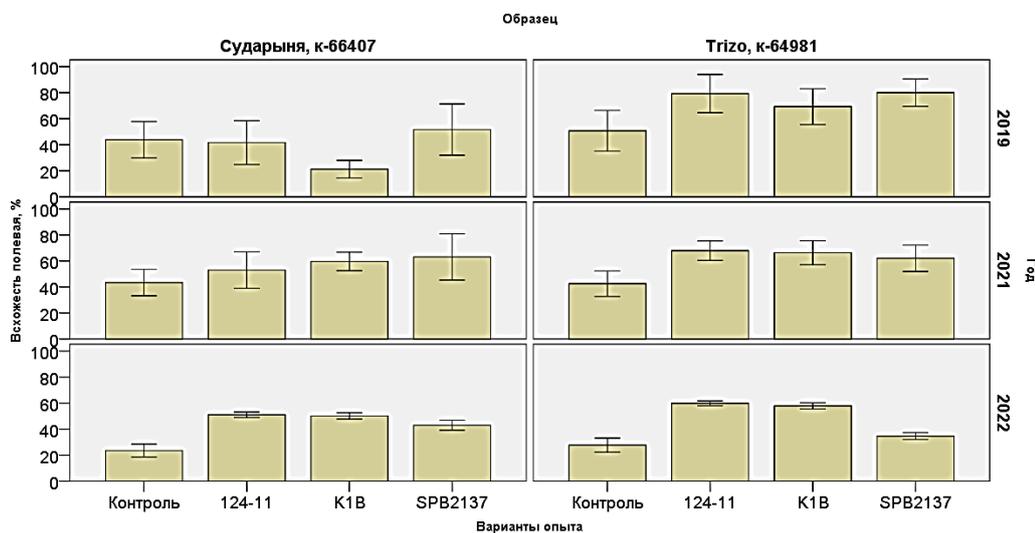


Рисунок 5 – Варьирование полевой всхожести семян мягкой пшеницы сортов Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

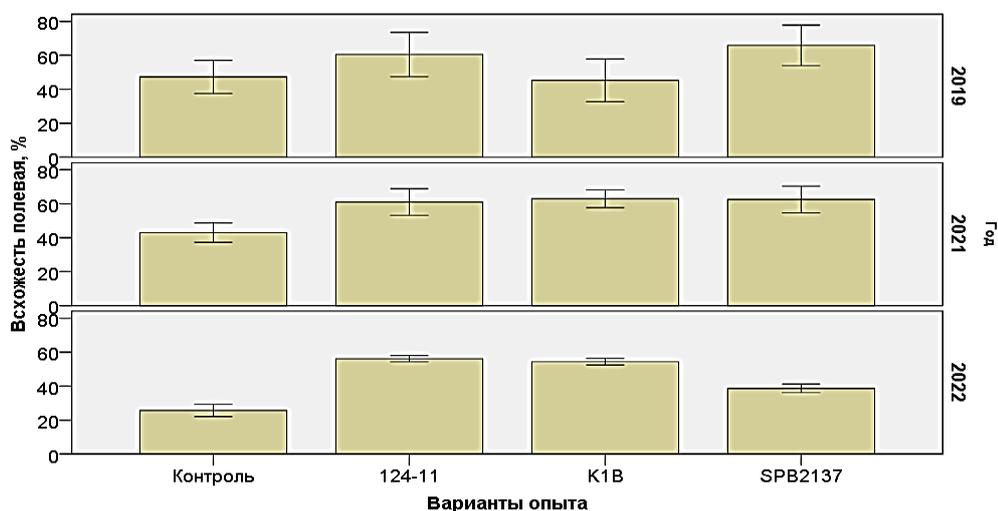


Рисунок 6 – Полевая всхожесть семян мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

Усредненные данные по полевой всхожести семян мягкой пшеницы по годам и сортам отражены в приложении А (таблица А1) и на рис. 7. Максимальный рост полевой всхожести семян пшеницы по сравнению с

контролем выявлен в варианте опыта «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 23,6%, а также отмечен в вариантах опыта: «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 18,5% и «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 14,6%.

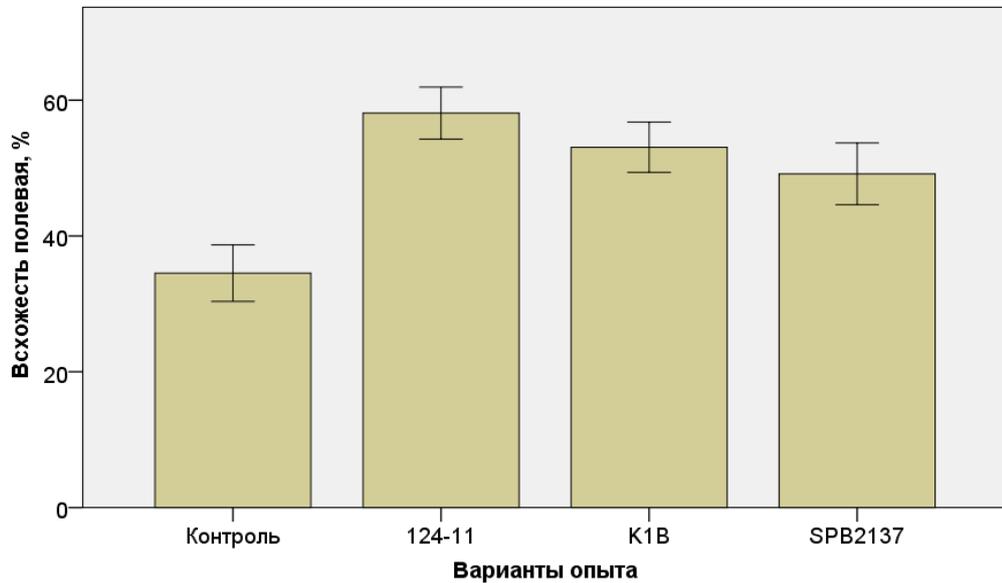


Рисунок 7 – Среднемноголетняя полевая всхожесть мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.2 Фитометрические показатели посевов мягкой пшеницы при применении ассоциативных ризобактерий

3.1.2.1 Продолжительность межфазного периода вегетации

Продолжительность межфазного периода пшеницы тесно связана с генетическими особенностями сортов, но изменчивость показателя во многом определяется агроэкологическими условиями возделывания культуры. В 2019 г. по сравнению с контролем определено статистически достоверное сокращение продолжительности межфазного периода вегетации пшеницы T_B при применении на сорте Сударыня штаммов бактерий: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 13,8% и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 15,7% (рис. 8). В 2021 г. во всех вариантах опыта у сортов Сударыня и Trizo не было выявлено заметных изменений в значениях T_B . В 2022 г. величина T_B существенно сократилась при использовании штамма *Sphingomonas* sp. K1B на сорте Trizo – на 11,3%.

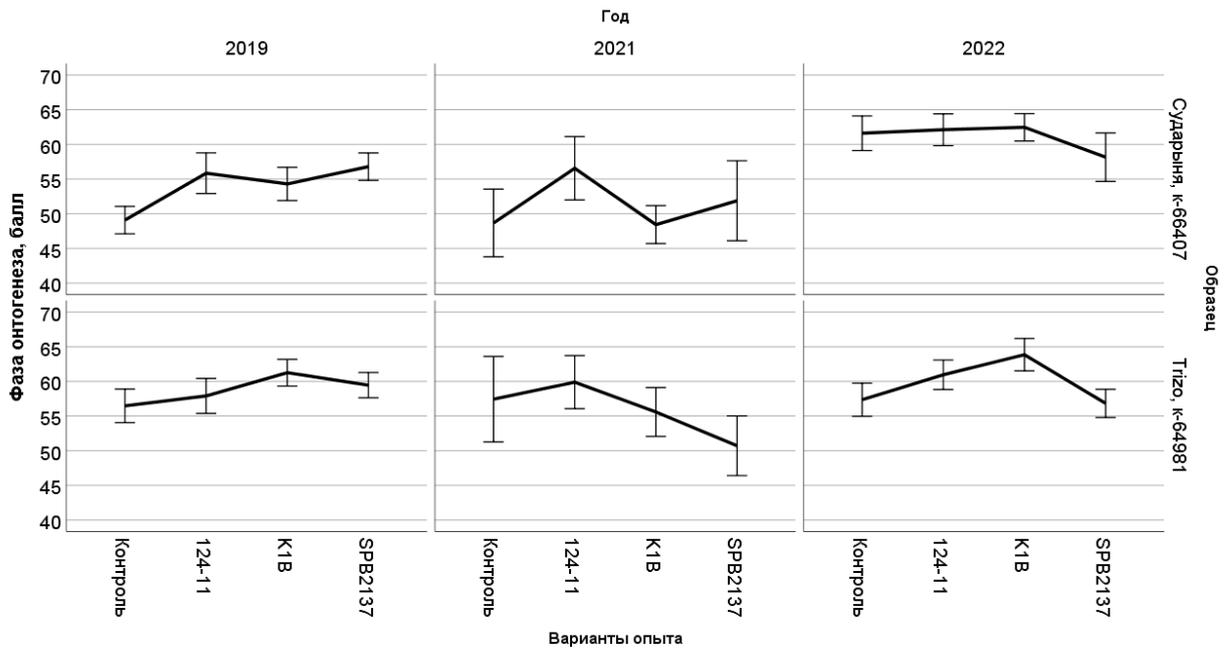


Рисунок 8 – Продолжительность межфазных периодов вегетации сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

Однако в среднем, по двум сортам пшеницы в 2019 г. (рис. 9), выявлено существенное сокращение межфазного периода вегетации пшеницы во всех вариантах опыта: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 10,5%, «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 11,4%, «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 12,0%. В 2021 г. существенных изменений в значениях указанного показателя выявлено не было. В 2022 г. существенный рост показателя выявлен только в варианте опыта с *Sphingomonas* sp. K1B – на 7,5%.

В среднем по сортам и годам исследования (рис. 10) статистически достоверное сокращение T_v отмечено при применении штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 (на 9,3%) и *Sphingomonas* sp. K1B (на 9,4%).

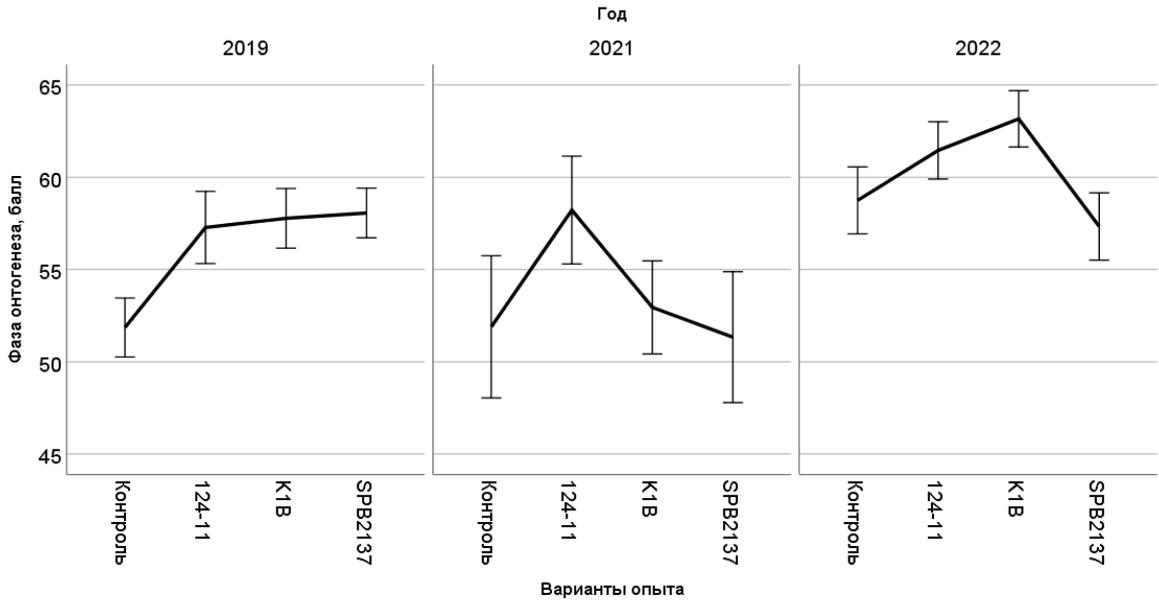


Рисунок 9 – Продолжительность межфазных периодов мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

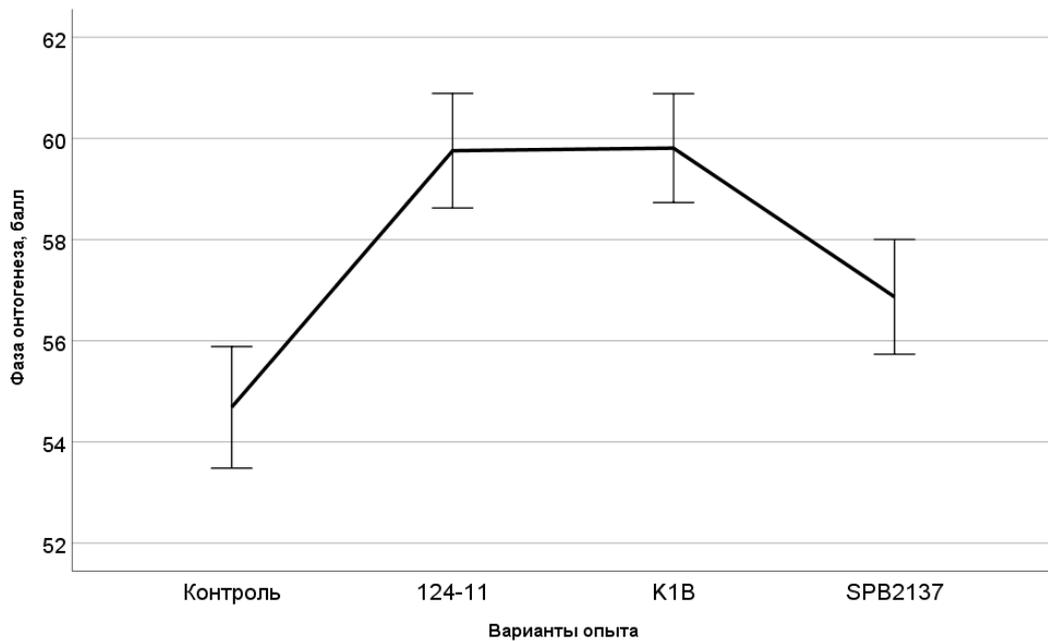


Рисунок 10 – Продолжительность межфазных периодов мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.2.2 Высота растений

Высота растений — важный морфологический признак пшеницы, определяющий ее адаптивный потенциал к условиям возделывания, в том числе устойчивость к полеганию. На полегших полях пшеницы усложняется уборка урожая и ухудшается фитосанитарное состояние посевов. Изменение высоты растений $h_{п}$ по сравнению с контролем при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сортам и годам исследования отражено на рис. 11. В 2019 г. отмечен достоверный рост $h_{п}$ (на 28,8%) в варианте опыта «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137». В 2021-2022 гг. $h_{п}$ у сортов Сударыня и Trizo существенно не изменилась.

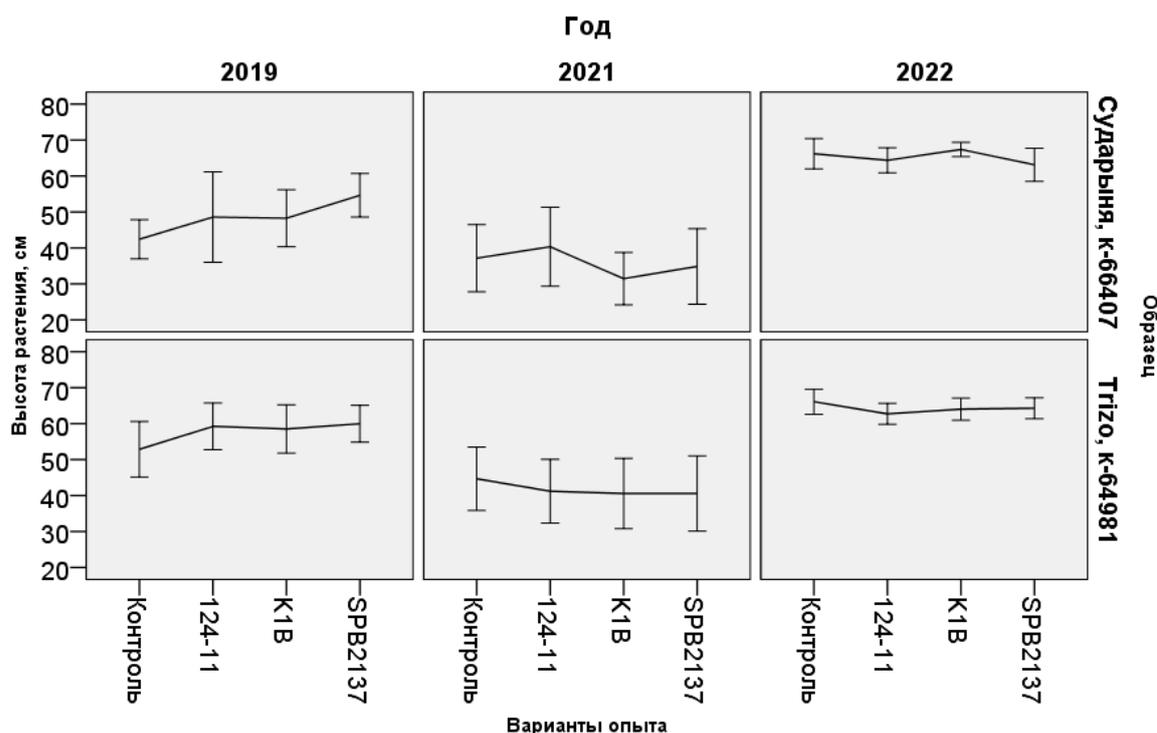


Рисунок 11 – Варьирование высоты растений сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий. (2019, 2021, 2022 гг.)

Данные по высоте растений при применении штаммов ассоциативных ризобактерий, в среднем, по двум сортам мягкой пшеницы, отражены на рис. 12. Отмечено, что во всех вариантах опыта достоверный рост $h_{п}$ по сравнению с контролем выявлен только в 2019 г.: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 22,1%,

Sphingomonas sp. K1B – на 16,4%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 24,4% (рис. 12).

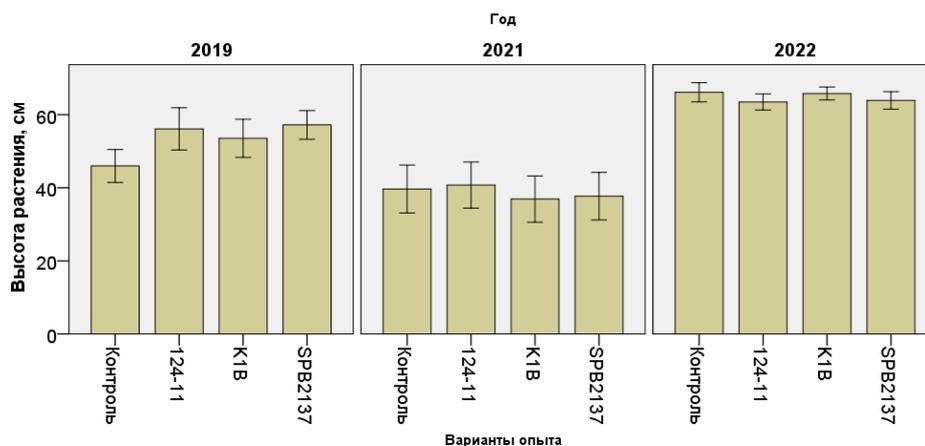


Рисунок 12 – Динамика высоты мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Усредненные данные по высоте растений мягкой пшеницы по годам и сортам отражены на рис. 13. Показано, что максимальный рост $h_{п}$ по сравнению с контролем зарегистрирован при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 (на 10,0%). В вариантах опыта, где были применены штаммы *Sphingomonas* sp. K1B и *Sphingomonas* sp. K1B увеличение $h_{п}$ составило 9,2% и 9,4%, соответственно.

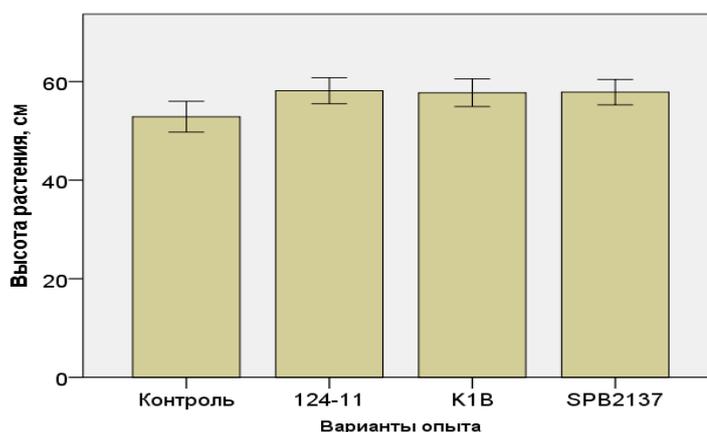


Рисунок 13 – Высота мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.2.3 Продуктивная и общая кустистость

Продуктивная и общая кустистость пшеницы играет важную роль в формировании структуры урожая зерна и зеленой массы. На изменчивость показателей влияет достаточно много агроэкологических факторов, но в основном она обусловлена генетическими особенностями сортов и их отзывчивостью на стимулирующие обработки. В 2019 г. продуктивная P_k и общая кустистость O_k у сортов Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий существенно не изменилась, а в варианте опыта «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» отмечено существенное снижение O_k на 30,9% (рис. 14). В 2021 г. на сорте Сударыня при применении штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 и *Sphingomonas* sp. K1B P_k снизилась относительно контроля на 27,3%, а на сорте Trizo – увеличилась на 185% и 91,7%, соответственно. В 2022 г. на сорте Сударыня зарегистрирован рост P_k во всех вариантах опыта с бактериальными штаммами: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 70,1%, «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 75,8%, «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 74,2%. При этом O_k в указанных вариантах опыта изменилась незначительно.

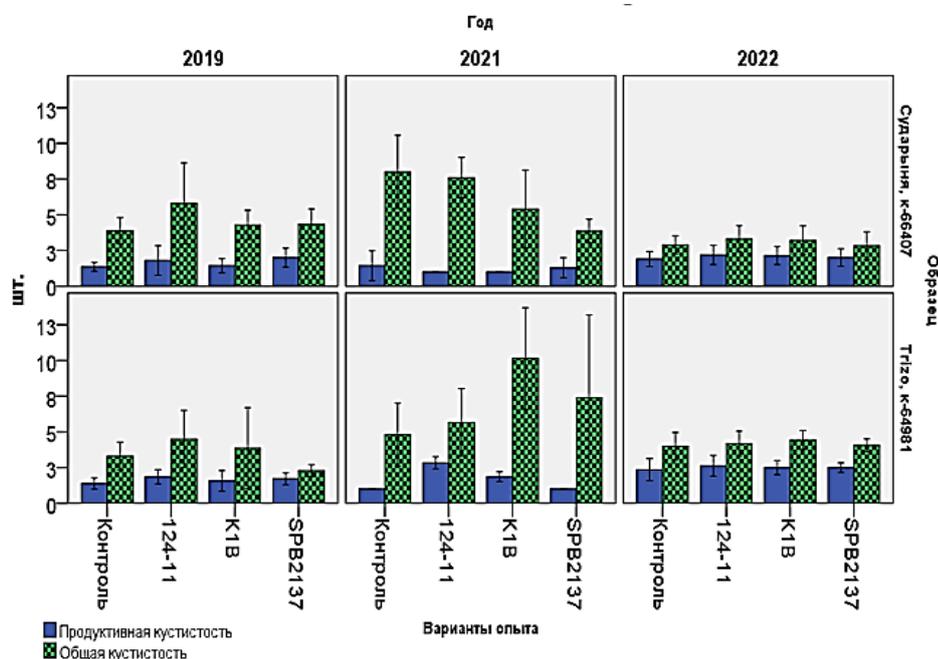


Рисунок 14 – Варьирование продуктивной и общей кустистости сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий-(2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы (рис. 15), в 2019 г. определен статистически достоверный рост Π_k в вариантах опыта с использованием штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 (на 32,8%) и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (на 32,7%), а в 2021 г. – только в варианте с *Bacillus subtilis* 124-11 (на 51,2%). В 2022 г. во всех вариантах опыта выявлен рост Π_k (без значительных изменений O_k): «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 37,7%, «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 99,5%, «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 64,1%.

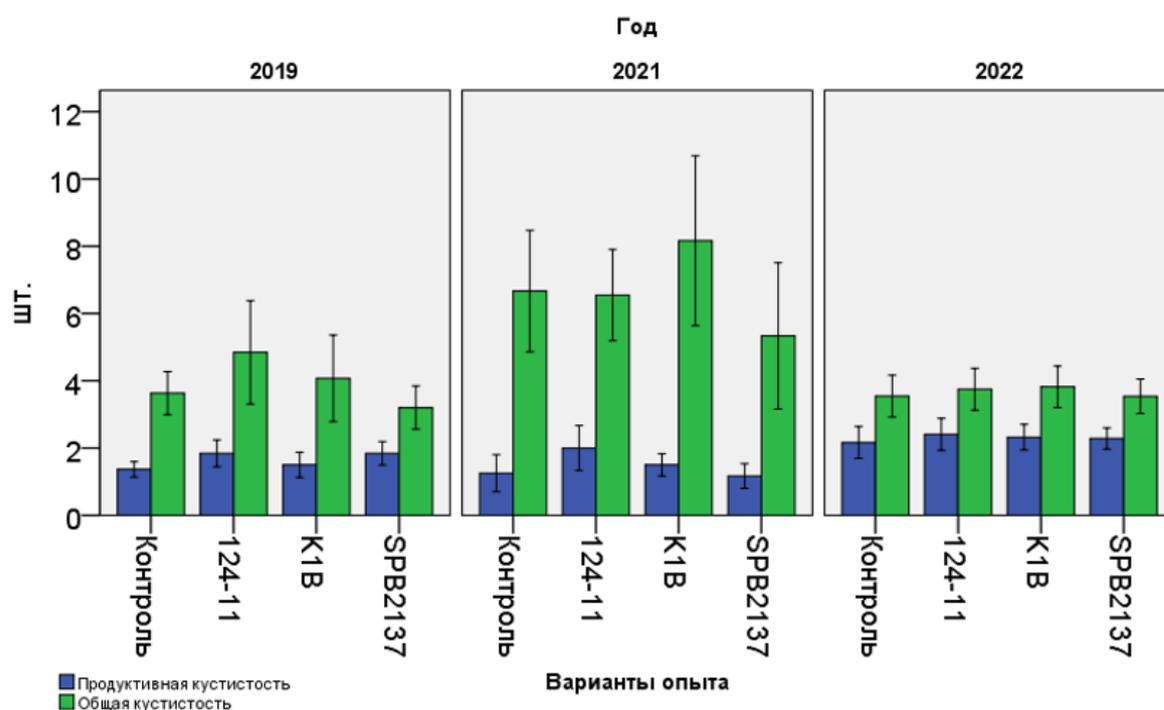


Рисунок 15 – Общая и продуктивная кустистость мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы (2019, 2021, 2022 гг.)

Согласно данным, усредненным по двум сортам мягкой пшеницы и годам исследования, представленным на рис. 16, максимальное и статистически достоверное увеличение Π_k на 74,3% зарегистрировано в варианте опыта «*Sphingomonas* sp. K1B». Рост значений показателя в вариантах «*Bacillus subtilis* 124-11» и «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» составил 41,4% и 45,7%, соответственно. Общая кустистость растений при применении указанных штаммов бактерий существенно не изменилась.

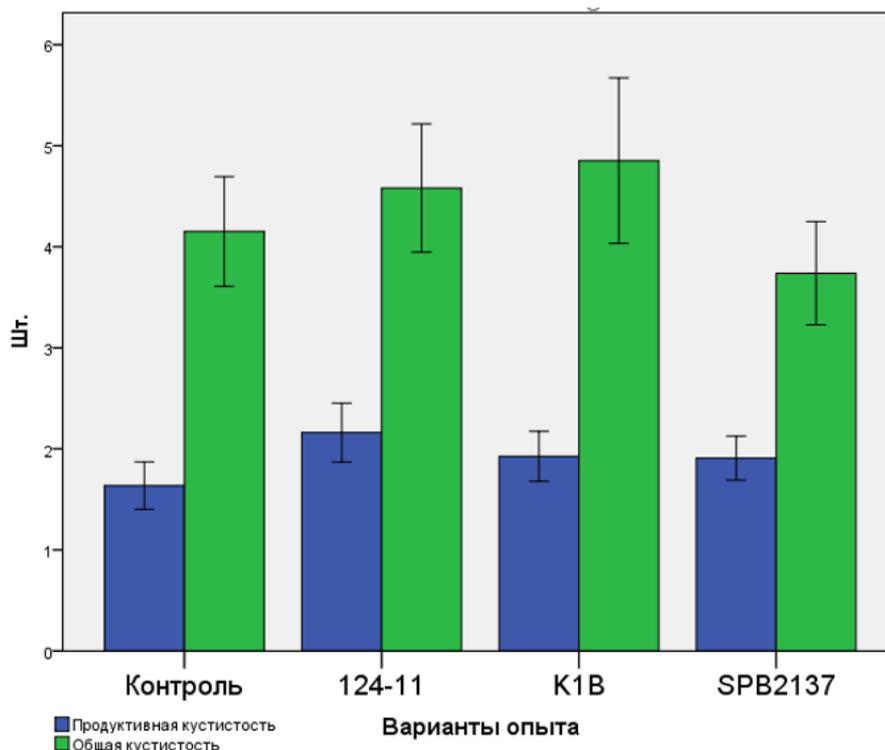


Рисунок 16 – Продуктивная и общая кустистость мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.2.4 Масса вегетативной части растений

Вегетативная часть растений пшеницы может быть использована на фуражные цели, в том числе для заготовки сенажа как в чистом виде, так и в смеси с другими культурами (Сидоров и др., 2019). Существенное увеличение массы вегетативной части растений (на 34,2%) выявлено только в 2019 г. при применении на сорте Сударыня, к-66407 штамма *Sphingomonas* sp. K1B (рис. 17). В среднем за 2019-2022 гг. тенденция роста показателя по вариантам опыта составила: «*Bacillus subtilis* 124-11» – 3,4%, «*Sphingomonas* sp. K1B» – 10,0%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 7,9%.

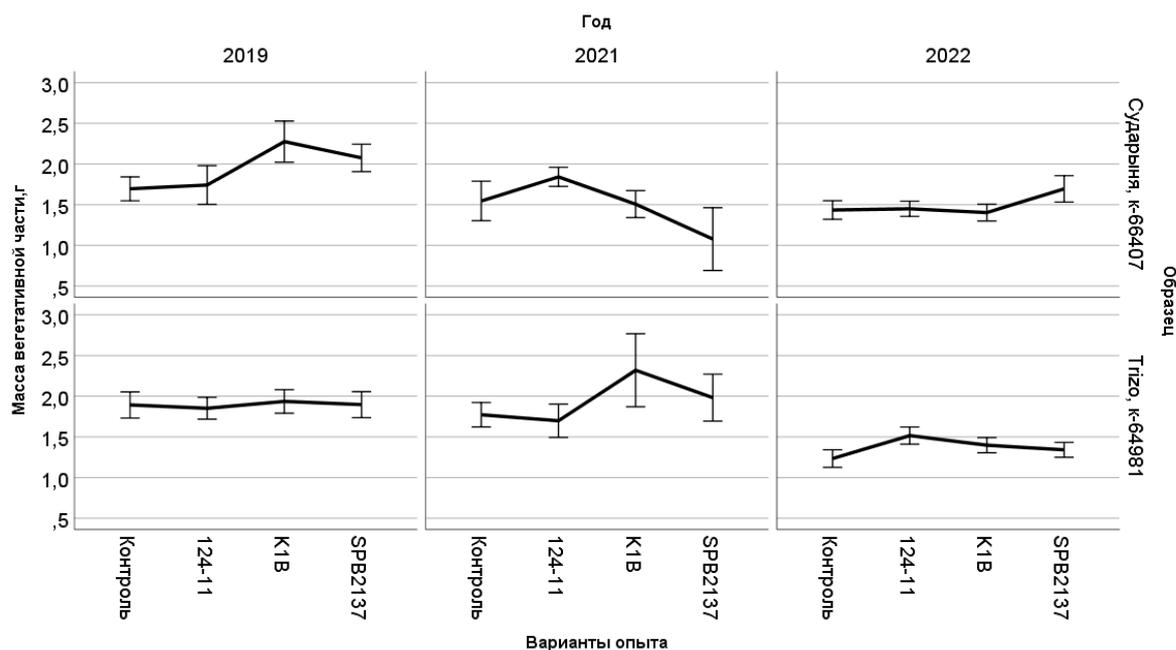


Рисунок 17 – Варьирование массы вегетативной части растений сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий-(2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.2.5 Масса корней

Пшеница образует двухъярусную корневую систему, оказывающую существенное влияние на формирование урожая. Нижний ярус формируется первичной корневой системой, а верхний ярус связан с корнеобразующей деятельностью узла кущения (Зинченко, Рябов, 2014).

В 2019 г. масса корней пшеницы сорта Сударыня существенно увеличилась на 54,0% в варианте опыта с *Sphingomonas* sp. K1B. В 2021 г. отмечен рост показателя на 120,5% в варианте, где сорт Trizo был обработан штаммом *Bacillus subtilis* 124-11. В 2022 г. зарегистрировано существенное увеличение массы корней (на 64,3%) у сорта Сударыня при использовании штамма *Bacillus subtilis* 124-11 (рис. 18).

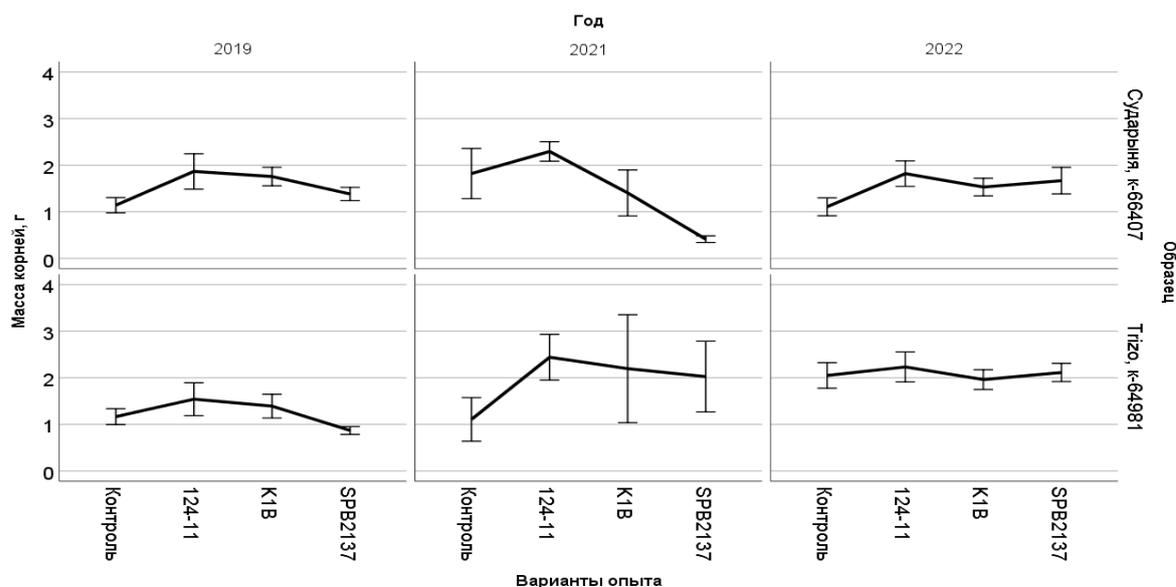


Рисунок 18 – Варьирование массы корней сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы, в 2019 г. масса корней увеличилась на 35,3% в варианте опыта «*Sphingomonas* sp. K1B», в 2021 г. – на 66,5% в варианте «*Bacillus subtilis* 124-11» (рис. 19). В 2022 г. существенных изменений показателя по сравнению с контролем при применении бактериальных штаммов выявлено не было.

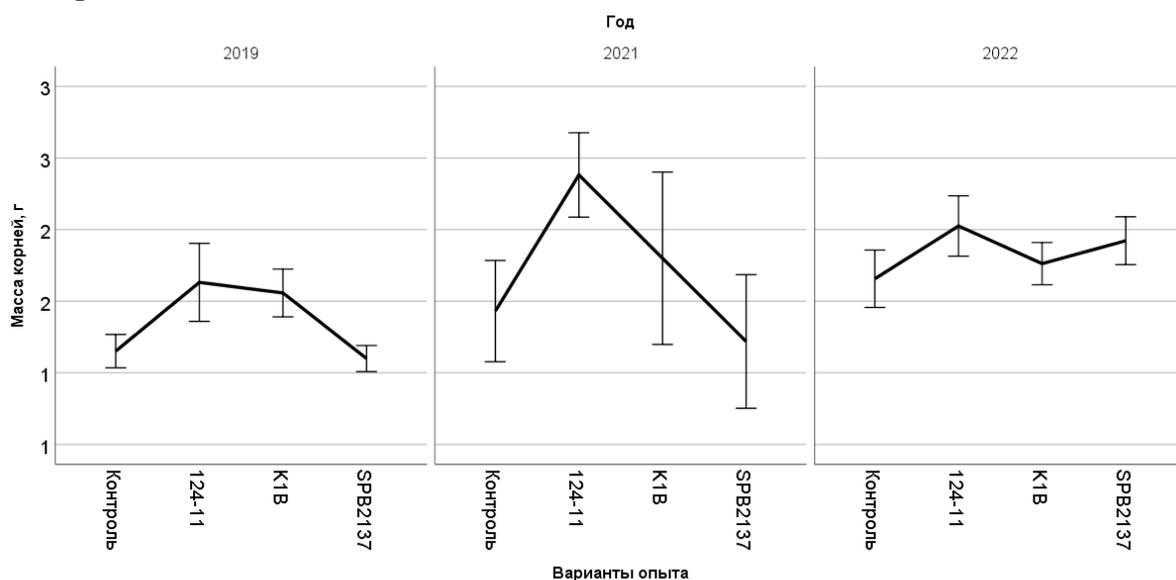


Рисунок 19 – Динамика массы корней мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий-(2019, 2021, 2022 гг.)

Значения массы корней, усредненные по сортам и годам исследования, представлены на рис. 20. Максимальный рост показателя (39,8%) выявлен при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на двух сортах пшеницы.

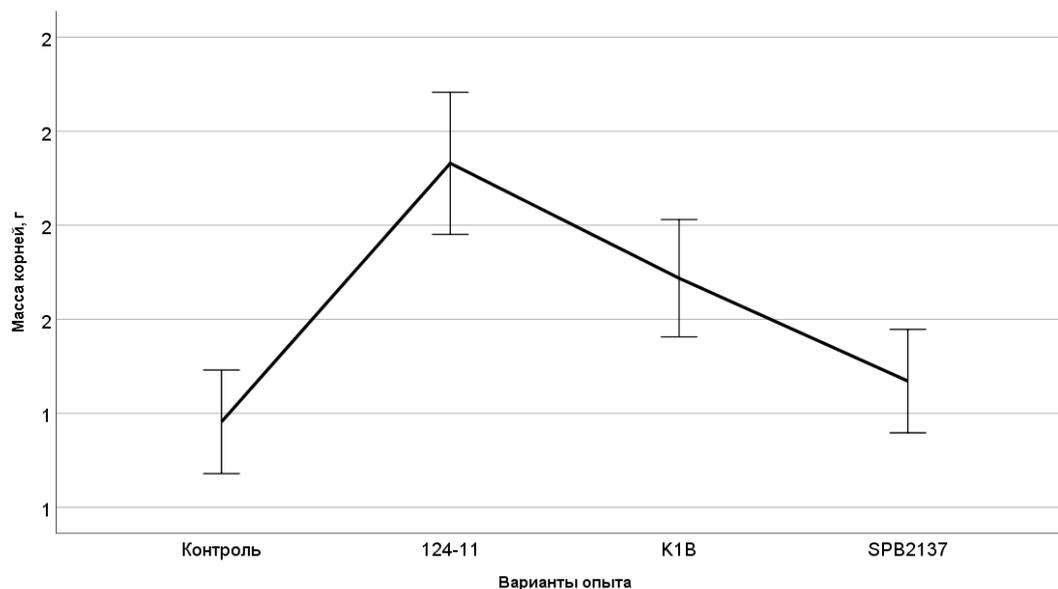


Рисунок 20 – Масса корней мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.2.6 Число первичных и узловых корней пшеницы

Плотность корневой системы пшеницы непосредственно связана со способностью растений адаптироваться к условиям недостатка влаги, что имеет большое значение при ее возделывании в условиях рискованного земледелия Северо-Запада РФ (Сыздыкова и др., 2018).

В 2019 г. у сорта Сударыня статистически достоверный рост числа первичных корней $N_{ПК}$ (на 27,4%) и вторичных (узловых корней) $N_{УК}$ (на 50,0%) выявлен в вариантах опыта: «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» и «*Bacillus subtilis* 124-11», соответственно (рис. 21). У сорта Trizo достоверно увеличилось на 29,1% $N_{ПК}$ в тех вариантах опыта, где были применены штаммы *Bacillus subtilis* 124-11 и *Sphingomonas sp.* K1B.

В 2021 г. на 53,1% определено снижение $N_{\text{ПК}}$ у сорта Сударыня в варианте «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137». Во всех вариантах опыта на сорте Trizo при применении бактериальных штаммов выявлен рост $N_{\text{ПК}}$: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 222,7%, *Sphingomonas* sp. K1B – на 108,0%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 144,0%. Число узловых корней в указанных вариантах опыта существенно не изменилось. В 2022 г., наоборот, бактериальные штаммы не оказывали существенного влияния на $N_{\text{ПК}}$ у сортов Сударыня и Trizo, при этом $N_{\text{УК}}$ у данных сортов существенно выросло: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 46,2% и «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 47,8%.

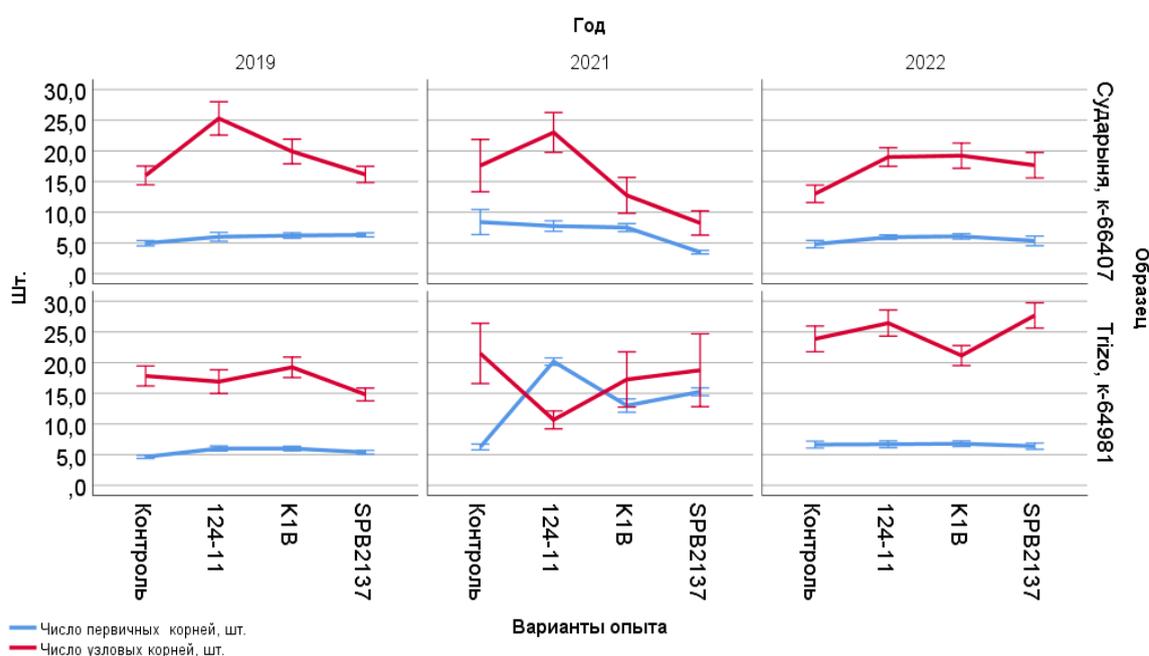


Рисунок 21 – Варьирование числа первичных и узловых корней сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий-(2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы, в 2019 г. во всех вариантах опыта при использовании бактериальных штаммов выявлено увеличение $N_{\text{ПК}}$: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 24,7%, *Sphingomonas* sp. K1B – на 23,1%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 20,4% (рис. 22). В 2021 г. зарегистрирован достоверный рост $N_{\text{ПК}}$ только в варианте опыта «*Bacillus subtilis* 124-11» (на 104,2%), а в 2022 г. существенного увеличения показателя обнаружено не было. При применении штаммов ассоциативных ризобактерий $N_{\text{УК}}$ изменилось незначительно.

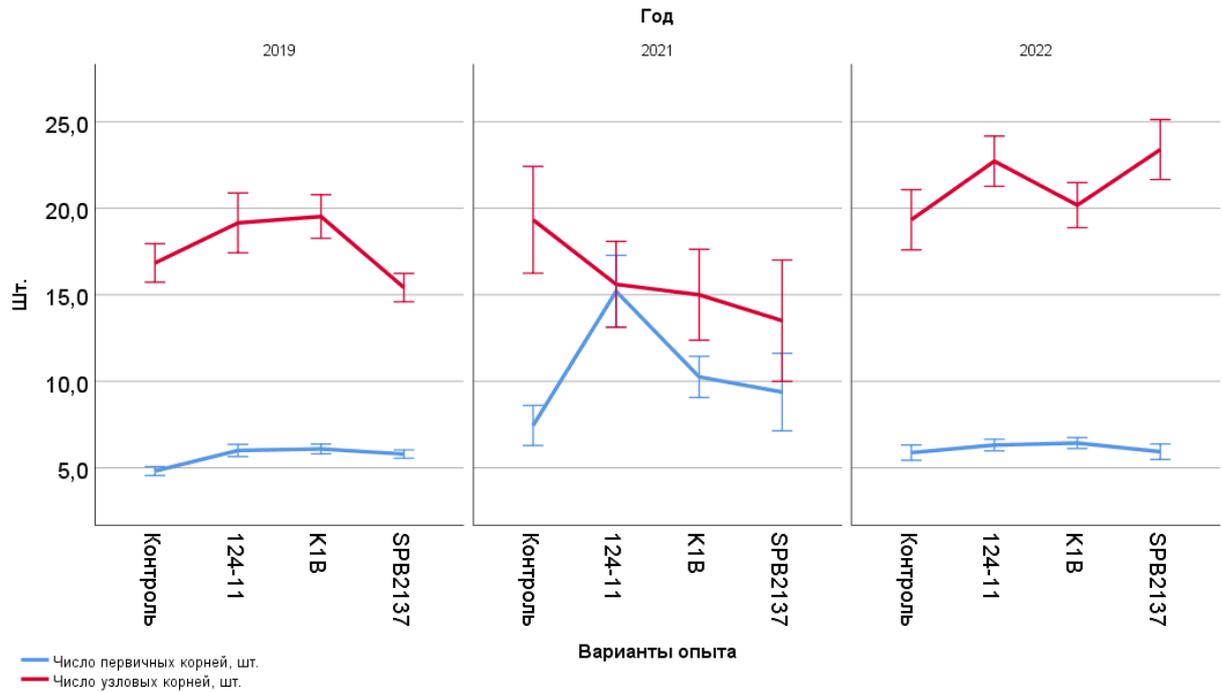


Рисунок 22 – Динамика числа первичных и узловых корней мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Усредненные по сортам пшеницы значения $N_{\text{ПК}}$ и $N_{\text{УК}}$ (2019, 2021, 2022 гг.) при применении штаммов ассоциативных ризобактерий, отражены на рис. 23. Максимальный рост показателей на 36,0% и 16,8% выявлен в варианте опыта, где растения были обработаны штаммом *Bacillus subtilis* 124-11. В варианте «*Sphingomonas* sp. K1B» выявлен рост только $N_{\text{ПК}}$ (21,9%).

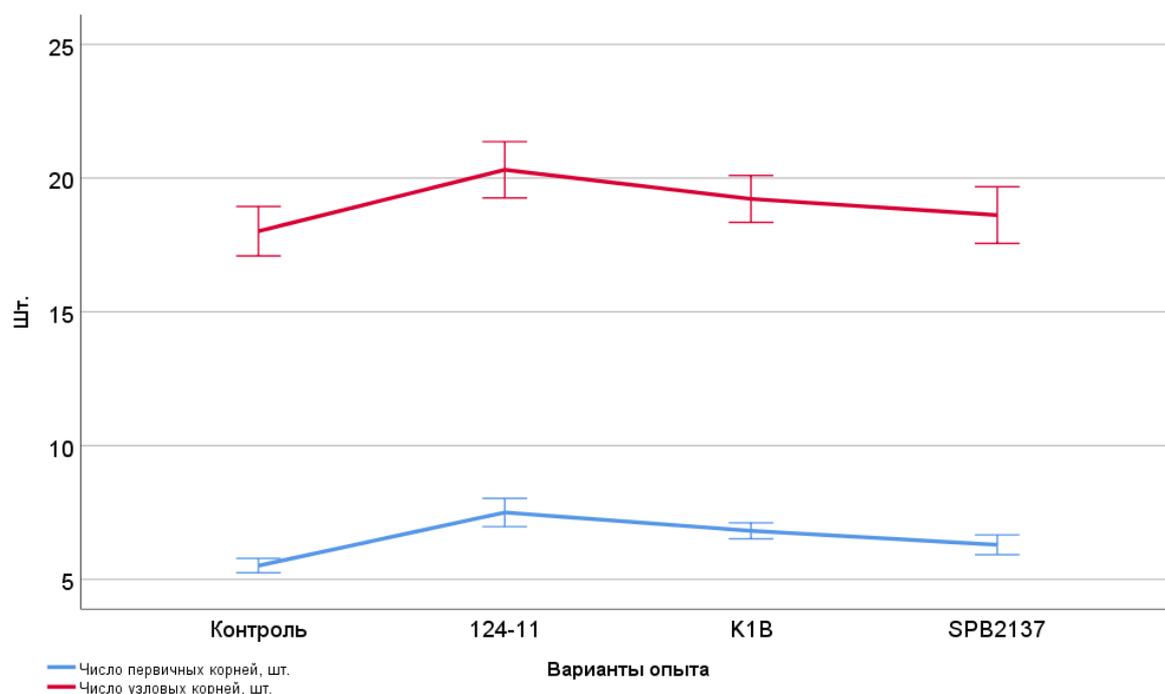


Рисунок 23 – Число первичных и узловых корней при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.2.7 Длина первичных и узловых корней пшеницы

Увеличение длины корней непосредственно связана со способностью пшеницы извлекать воду и питательные вещества из почвы, особенно, при недостаточном увлажнении (Коробова и др., 2019).

В 2019 г. в вариантах опыта с *Sphingomonas* sp. K1B и *Bacillus subtilis* 124-11 у сорта Сударыня зарегистрировано статистически достоверное увеличение длины первичных корней $L_{\text{ПК}}$ – на 39,3% и длины узловых корней $L_{\text{УК}}$ – на 58,0% (рис. 24). При применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B у сорта Trizo отмечено увеличение только $L_{\text{ПК}}$ (на 27,8%). В 2021 г. на сортах Сударыня и Trizo в варианте «*Bacillus subtilis* 124-11» величина $L_{\text{ПК}}$ выросла на 54,8% и 75,1%. Кроме того, в вариантах, где на сорте Trizo были применены штаммы *Sphingomonas* sp. K1B и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 $L_{\text{ПК}}$ у растений выросла на 51,1% и 67,0% по сравнению с контролем. В 2022 г. при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на сорте Сударыня значения $L_{\text{ПК}}$ и

$L_{ук}$ увеличились на 31,3% и 46,2%, соответственно. Использование штамма *Sphingomonas* sp. K1B оказало влияние только на рост $L_{ук}$ (на 47,8%) у указанного сорта, а *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – привело к росту $L_{пк}$ на 27,9%. Длина первичных корней сорта Trizo статистически достоверно увеличилась в следующих вариантах опыта: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 43,5%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 33,5%.

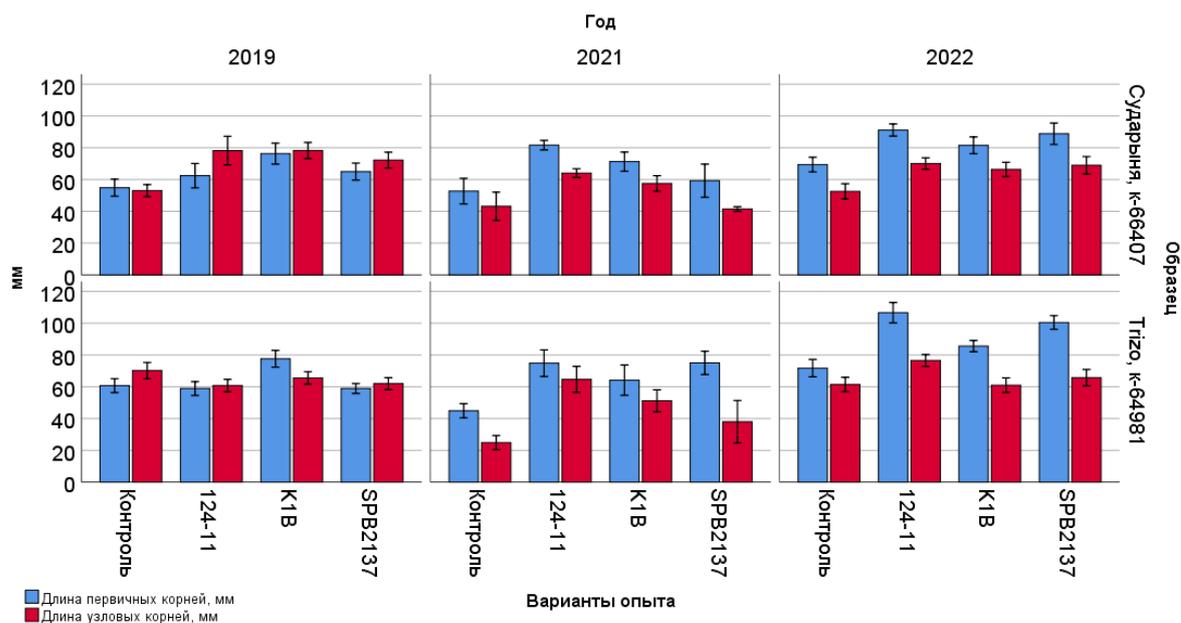


Рисунок 24 – Варьирование длины первичных и узловых корней сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий-(2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы (рис. 25), статистически достоверное увеличение $L_{пк}$ было выявлено в следующих вариантах: «*Sphingomonas* sp. K1B» (2019 г.) – 34,8%; «*Bacillus subtilis* 124-11» (2021 г.) – 66,5%; «*Sphingomonas* sp. K1B» (2021 г.) – 44,8%; «*Bacillus subtilis* 124-11» (2022 г.) – 36,6%; «*Sphingomonas* sp. K1B» (2022 г.) – 14,8%; «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» (2022 г.) – 30,3%.

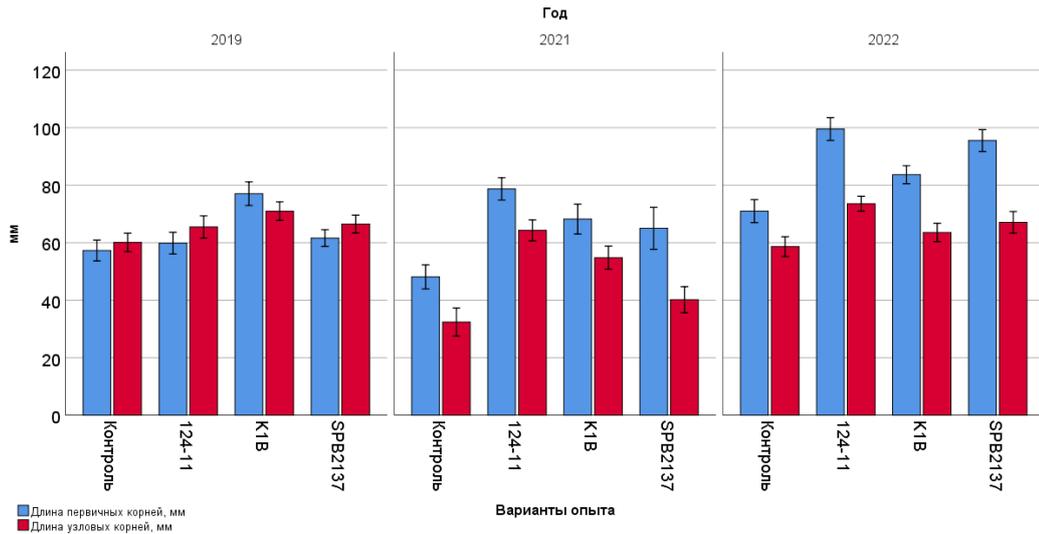


Рисунок 25 – Динамика длины первичных и узловых корней мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Согласно усредненным данным $L_{ПК}$ и $L_{УК}$ по двум сортам и годам исследования, максимальный рост показателей (на 37,4% и на 16,8%) был зарегистрирован в варианте опыта со штаммом *Bacillus subtilis* 124-11 (рис. 26). Остальные штаммы оказали влияние только на рост $L_{ПК}$: «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 26,5%; «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 26,3%.

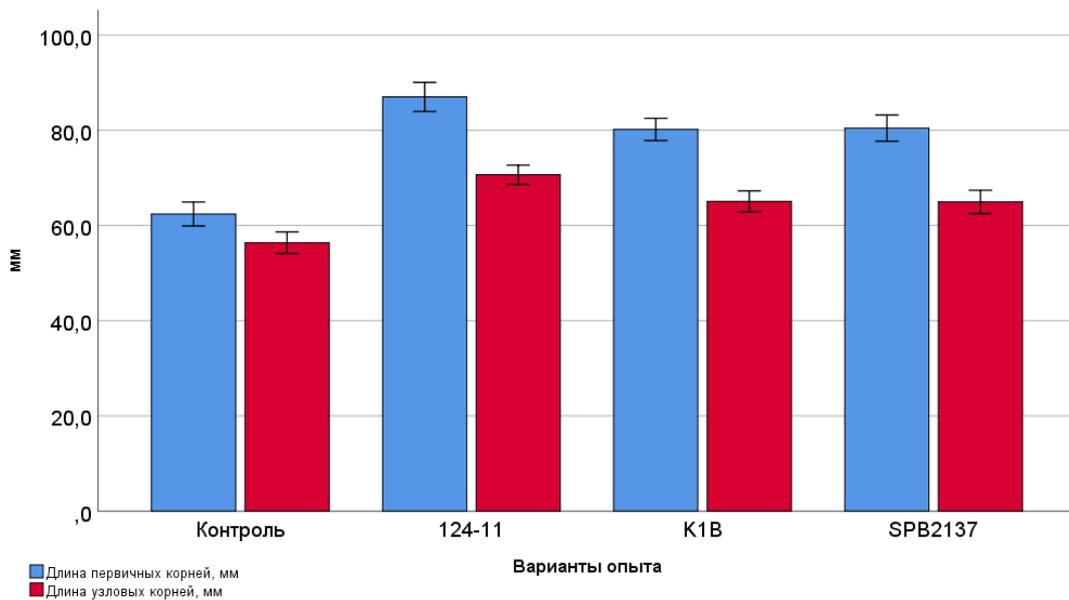


Рисунок 26 – Длина первичных и узловых корней при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo)-(2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.2.8 Площадь флагового и предфлагового листьев

Продуктивность пшеницы, в том числе масса зерен в колосе и озерненность колоса, в сильной степени зависит от размера ее листьев. Согласно данным рис. 27 у сорта Trizo в 2019 г. при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 отмечен статистически достоверный рост значений площади флаговых $S_{\text{фл}}$ и предфлаговых листьев $S_{\text{предфл}}$ – на 27,0% и 28,7%, соответственно, а у сорта Сударыня – $S_{\text{предфл}}$ (на 45,4%). В 2021 г. у сорта Trizo в варианте опыта «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» отмечено увеличение $S_{\text{фл}}$ и $S_{\text{предфл}}$ – на 13,0% и 29,5%, соответственно. На указанном сорте $S_{\text{фл}}$ выросла (на 40,1%) при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11, $S_{\text{предфл}}$ (на 22,5%) при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B. В 2022 г. статистически достоверный рост $S_{\text{предфл}}$ зарегистрирован только в варианте опыта с *Sphingomonas* sp. K1B.

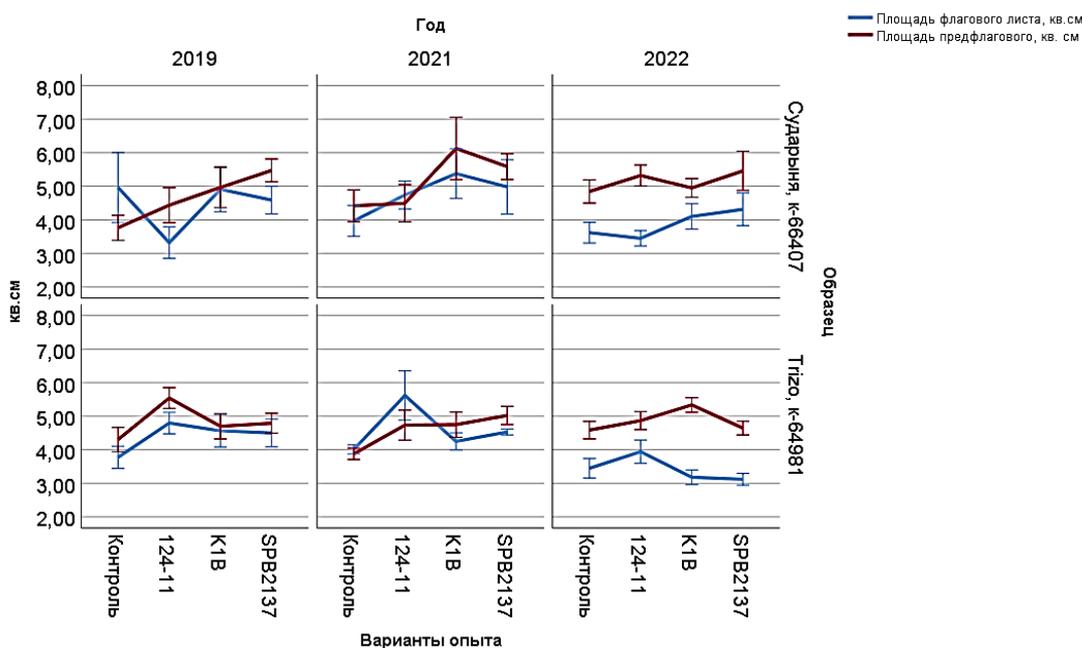


Рисунок 27 – Варьирование площади флагового и предфлагового листьев сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы, в 2019 г. выявлено существенное увеличение $S_{\text{предфл}}$ в следующих вариантах опыта: «*Bacillus subtilis* 124-11» –

на 31,5%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 28,7% (рис. 28). В 2021 г. $S_{\text{фл}}$ увеличилась на 29,3% в варианте «*Bacillus subtilis* 124-11», $S_{\text{предфл}}$ – на 25,2% в варианте «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137». В 2022 г. статистически достоверного роста показателей при применении ассоциативных ризобактерий относительно контроля выявлено не было.

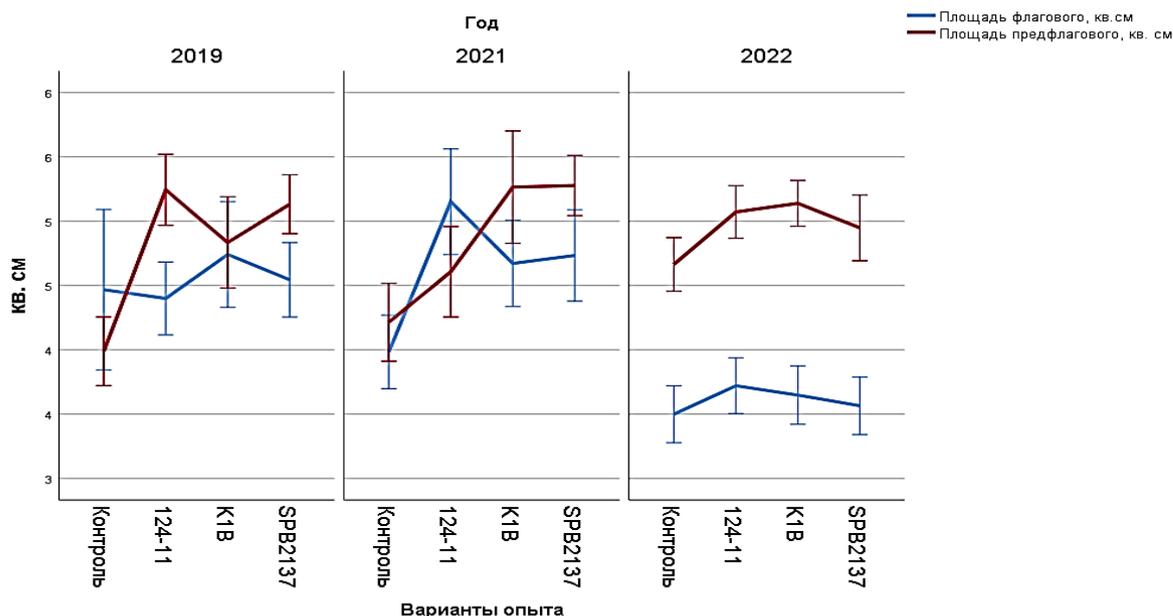


Рисунок 28 – Динамика площади флагового и предфлагового листьев мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по сортам и годам исследования, штаммы ассоциативных ризобактерий оказали статистически достоверное влияние на рост $S_{\text{предфл}}$: «*Bacillus subtilis* 124-11» – 18,3%; *Sphingomonas* sp. K1B – 18,1%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 18,0% (рис. 29).

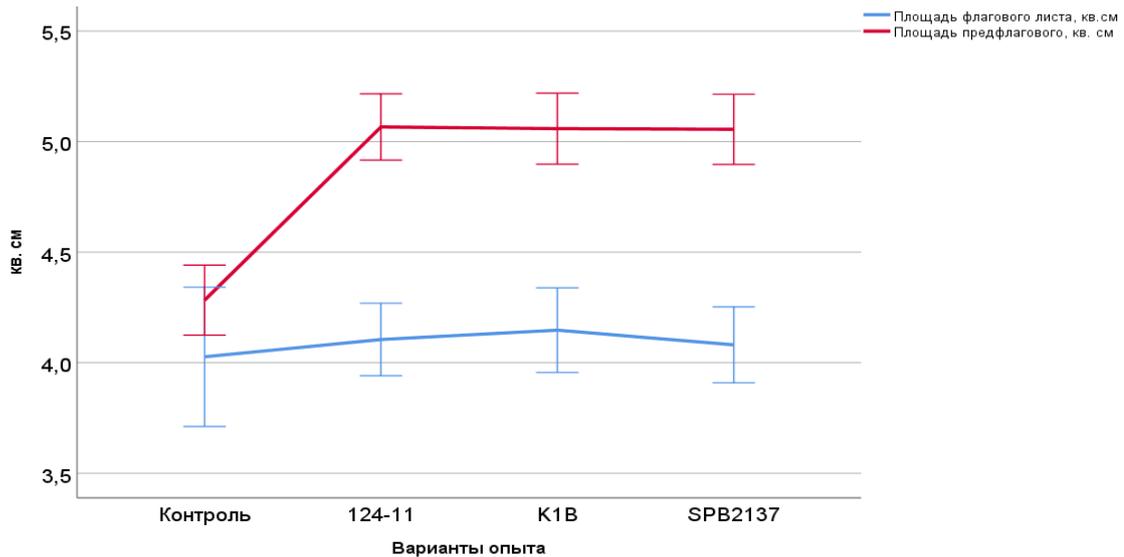


Рисунок 29 – Площадь флагового и предфлагового листьев мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo)-(2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.3 Структура урожайности мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий

3.1.3.1 Длина колоса

Длина колоса является генотипическим признаком, контролируемым множеством генов, несущественно изменяющимся в зависимости от агроэкологических условий возделывания пшеницы.

В 2019 г. не было выявлено статистически достоверного увеличения длины колоса у мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий по сравнению с контролем (рис. 30). В 2021 г. зарегистрирован рост показателя у сорта Trizo в вариантах опыта: «*Sphingomonas* sp. K1B» (на 26,9%) и «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» (на 12,9%), а в 2022 г. – «*Bacillus subtilis* 124-11» (на 11,5%).

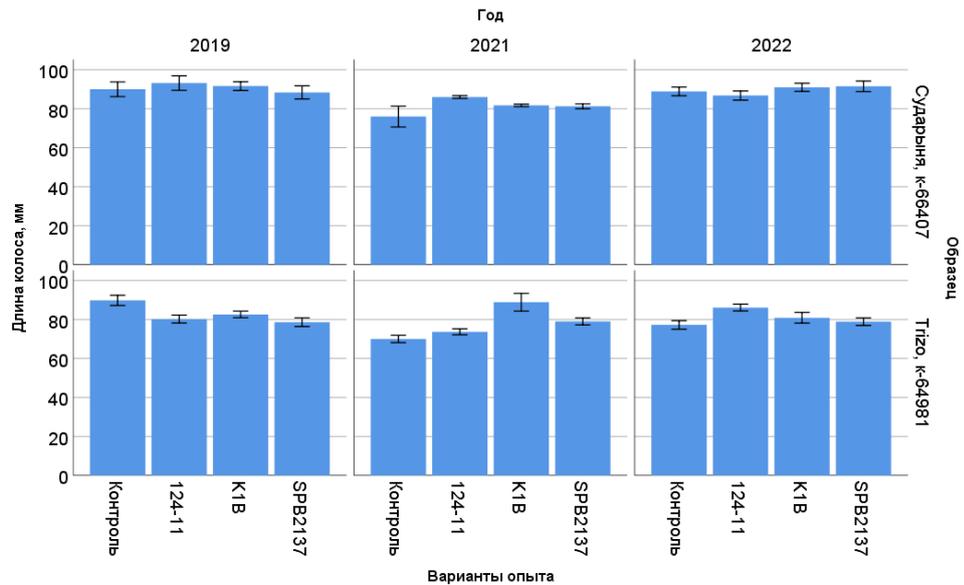


Рисунок 30 – Варьирование длины колоса у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий- (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы в 2021 г. зарегистрировано увеличение длины колоса при применении: *Spingomonas* sp. K1B (на 17,8%) и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (на 9,8%), а в 2022 г. – *Bacillus subtilis* 124-11 (на 6,4%) (рис. 31).

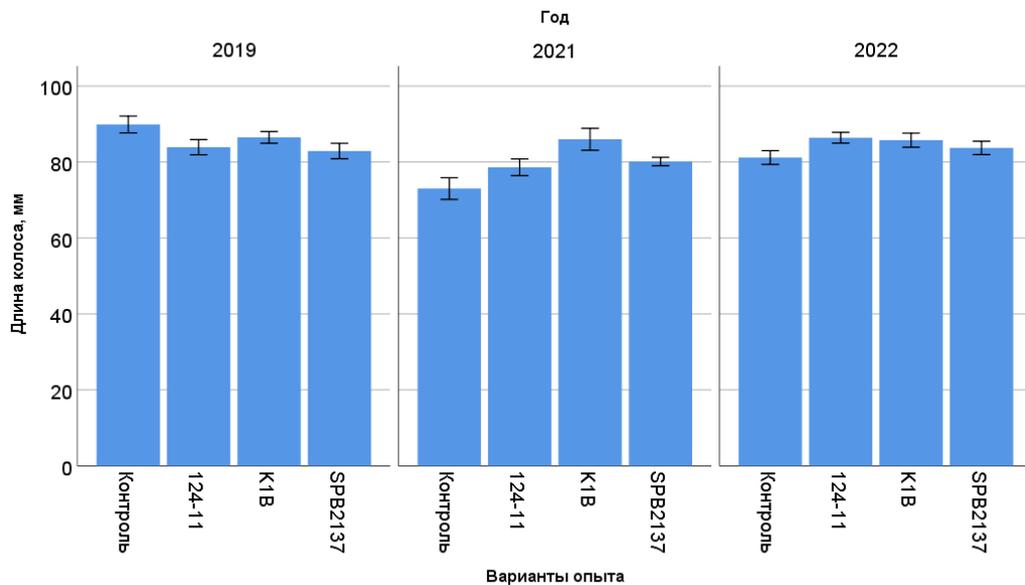


Рисунок 31 – Динамика длины колоса мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

Однако в среднем, по сортам и годам исследования, длина колоса при применении штаммов ассоциативных ризобактерий существенно не изменилась (рис. 32).

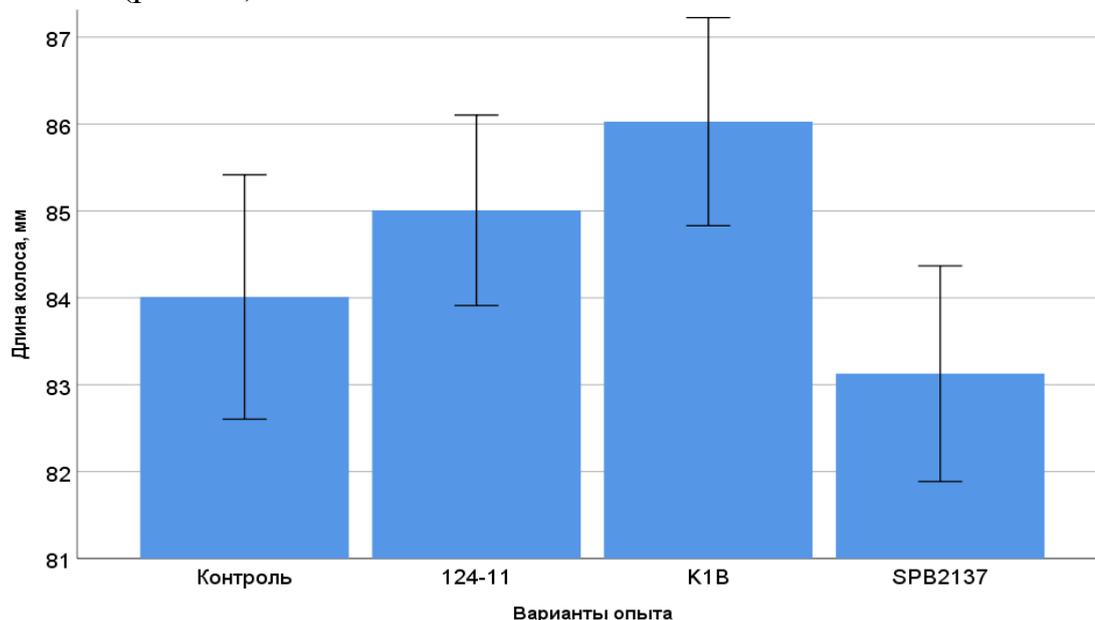


Рисунок 32 – Длина колоса мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo)-(2019, 2021, 2022 г.)

3.1.3.2 Число колосков в колосе

Озерненность колоса или количество зерен в колосе в первую очередь определяется количеством колосков в колосе. За вегетационный период 2019 г. штаммы ассоциативных ризобактерий не оказали существенного влияния на число колосков в колосе (рис. 33). В 2021 г. данный показатель у сорта Trizo существенно увеличился в варианте опыта «*Bacillus subtilis* 124-11» (на 15,5%), а в 2022 г. во всех вариантах опыта: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 18,2%, «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 25,7%, «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 17,4%.

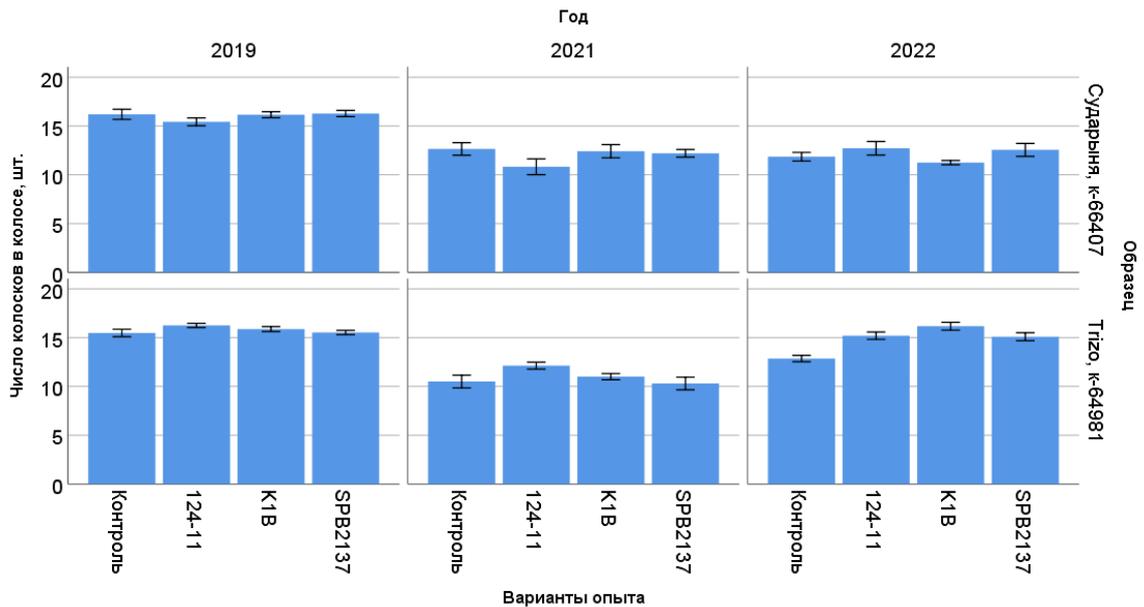


Рисунок 33 – Варьирование числа колосков в колосе у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы, штаммы бактерий оказали статистически достоверное влияние на увеличение числа колосков в колосе только в 2022 г. (рис. 34): *Bacillus subtilis* 124-11 – на 14,6%, *Sphingomonas* sp. K1B – на 12,7%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 12,0%.

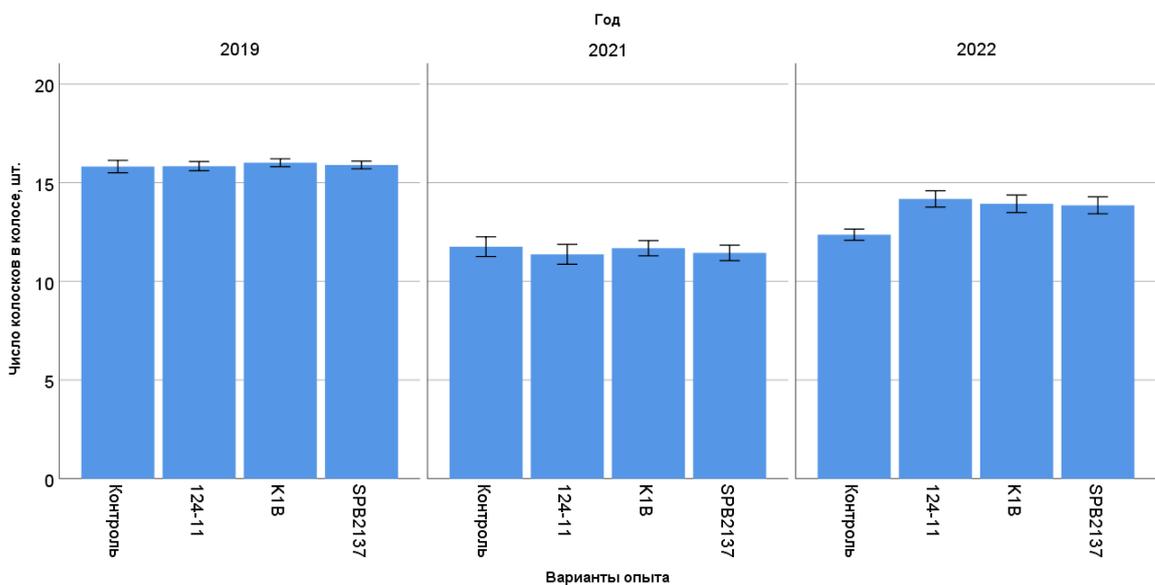


Рисунок 34 – Число колосков в колосе мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

Число колосков в колосе в среднем по сортам и годам исследования существенно изменилось по сравнению с контролем при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 – на 5,2% (рис. 35).

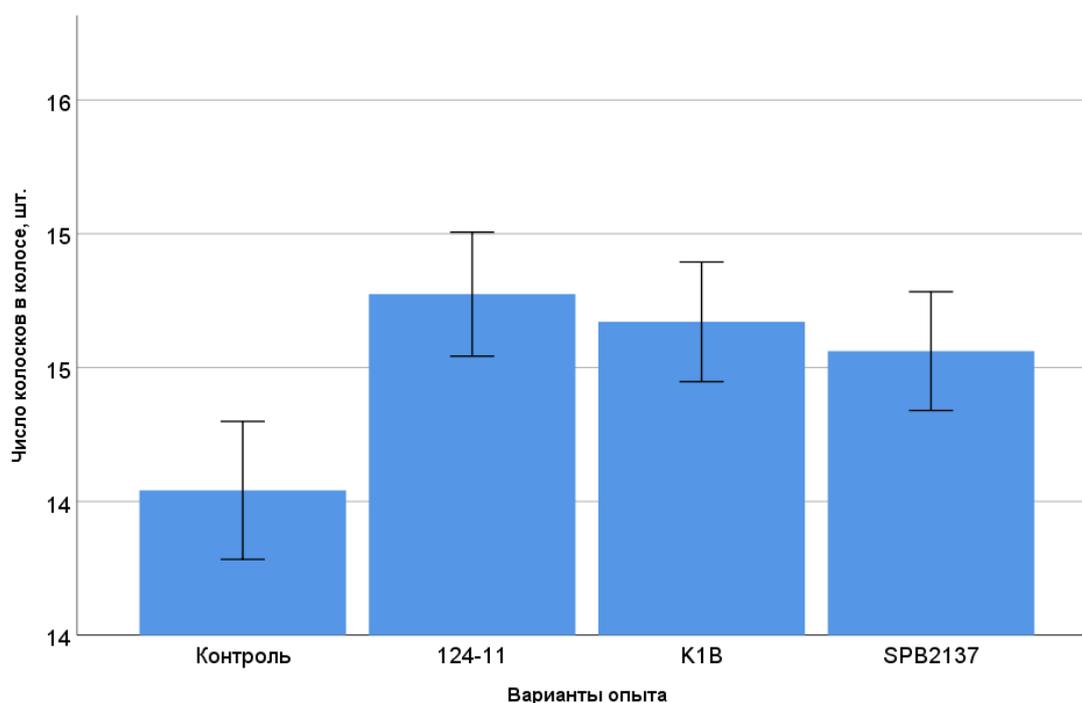


Рисунок 35 – Число колосков в колосе мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.3.3 Масса колоса

Масса колоса оказывает существенное влияние на формирование урожайности пшеницы. В 2019 г. не было выявлено статистически достоверного увеличения массы колоса у сортов Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (рис. 36). В 2021 г. существенный рост показателя был выявлен у сорта Trizo в вариантах опыта: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 50,9% и «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 37,4%. В 2022 г. – у сорта Сударыня в вариантах: «*Bacillus subtilis* 124-11» (на 55,0%) и «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» (на 42,2%), а также у сорта Trizo: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 142,4%, «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 148,3%, «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 146,8%.

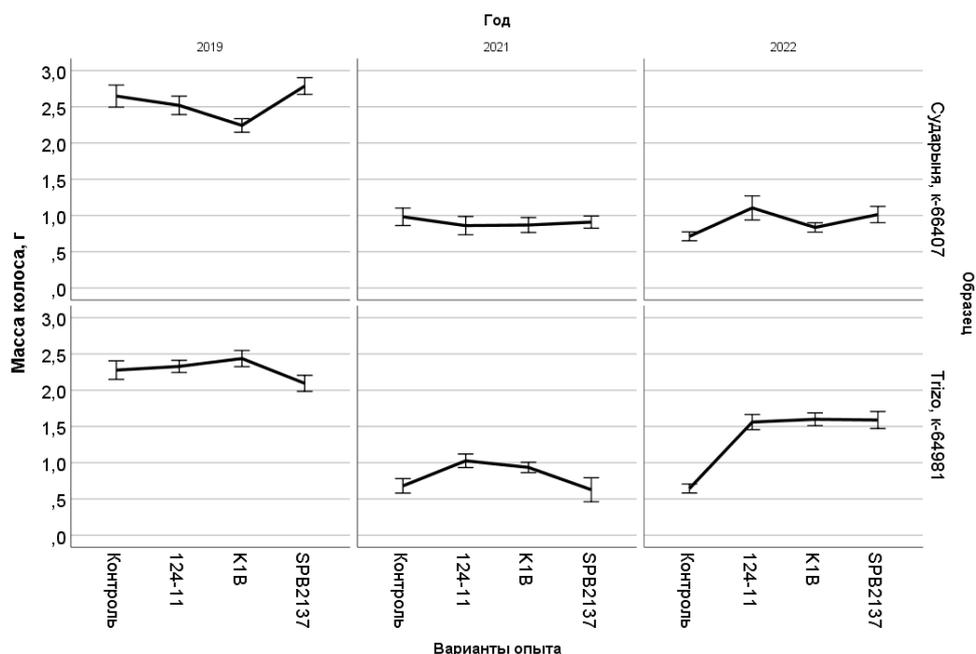


Рисунок 36 – Варьирование массы колоса у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам, существенное влияние штаммы ассоциативных ризобактерий оказали на рост массы колоса только в 2022 г.: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 102,6%, «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 84,8%, «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 93,1% (рис. 37).

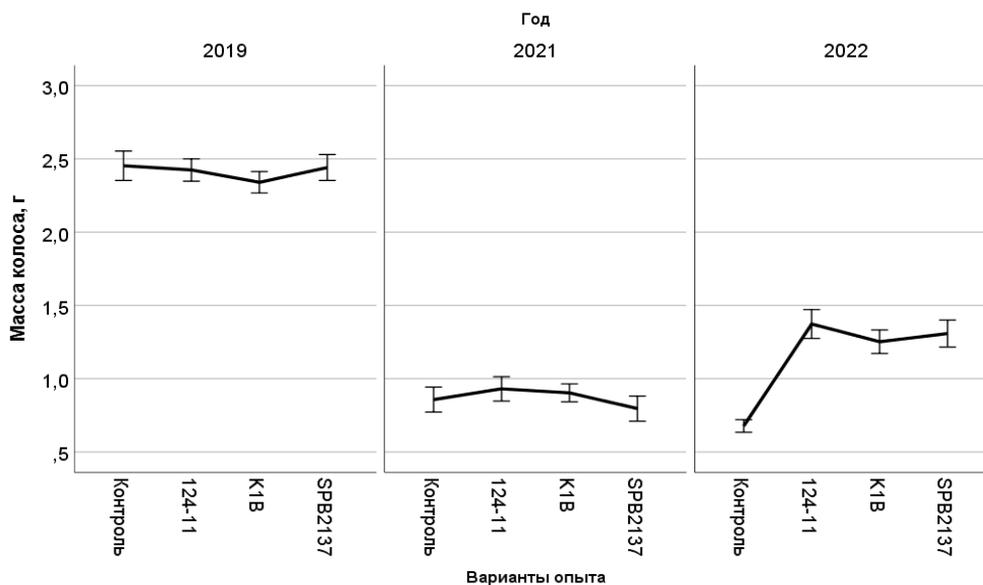


Рисунок 37 – Масса колоса мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

Однако по сортам и годам исследования, масса колоса статистически достоверно увеличилась на 18,6 % только в варианте опыта, где был использован штамм *Bacillus subtilis* 124-11 (рис. 38).

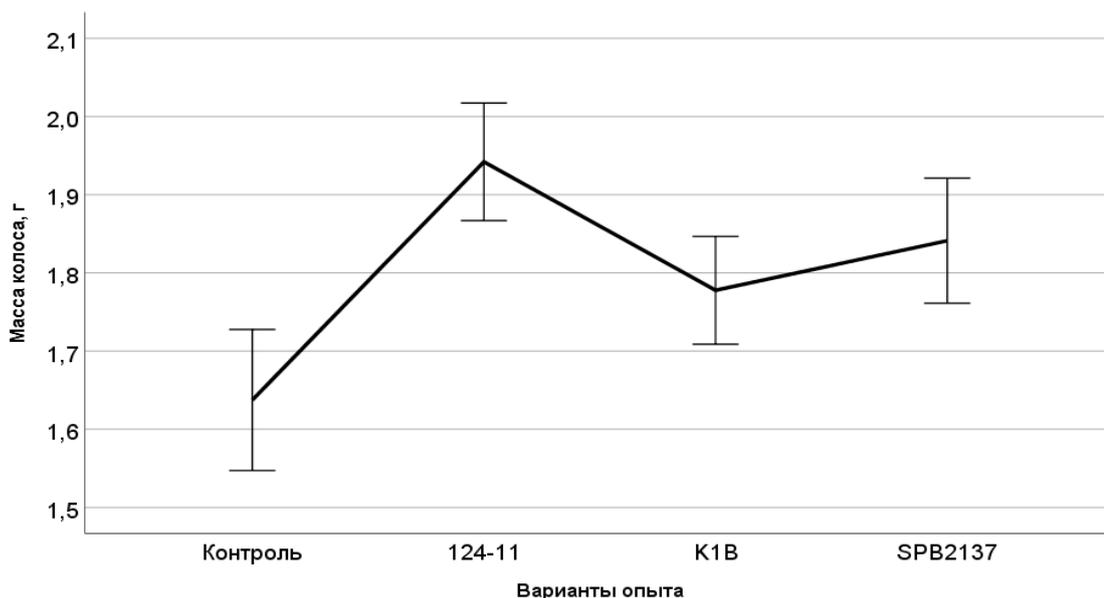


Рисунок 38 – Масса колоса мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo)-(2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.3.4 Число зерен в колосе

Число зерен в колосе – один из самых важных компонентов урожайности, который может изменяться в широких пределах в зависимости от агроэкологических условий возделывания пшеницы. В 2019 г. не было отмечено увеличения числа зерен в колосе при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (рис. 39). В 2021 г. только в варианте опыта «*Bacillus subtilis* 124-11» у сорта Trizo зарегистрирован рост показателя на 61,4% по сравнению с контролем. В 2022 на указанном сорте во всех вариантах с бактериальными штаммами отмечено увеличение числа зерен в колосе: «*Bacillus subtilis* 124-11» – 61,1%, *Sphingomonas* sp. K1B – 63,7%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 70,5%.

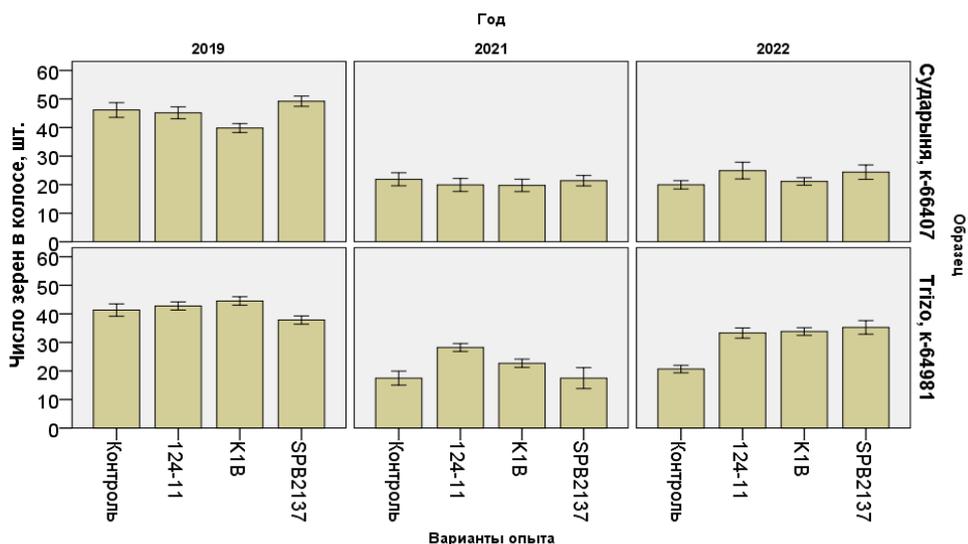


Рисунок 39 – Варьирование числа зерен в колосе у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы, за период 2019 г. и 2021 г. штаммы бактерий не оказали существенного влияния на изменение числа зерен в колосе. Однако в 2022 г, напротив, наблюдался рост значений показателя во всех вариантах опыта по сравнению с контролем: «*Bacillus subtilis* 124-11» – 46,9%, «*Sphingomonas* sp. К1В» – 38,2%, «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 47,4% (рис. 40).

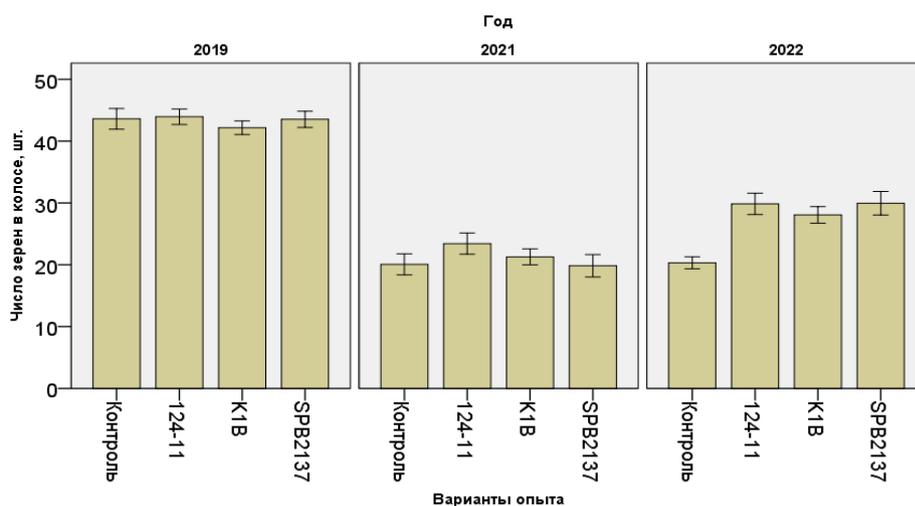


Рисунок 40 – Число зерен в колосе мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

По сортам и годам исследования статистически достоверный рост числа зерен в колосе на 15,5% по сравнению с контролем был зарегистрирован только в варианте опыта со штаммом *Bacillus subtilis* 124-11 (рис. 41).

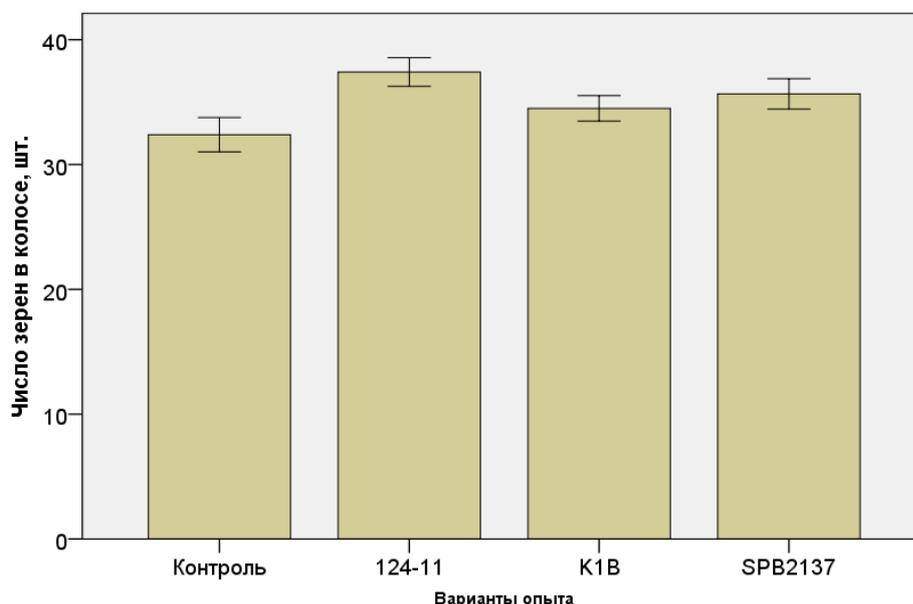


Рисунок 41 – Число зерен в колосе мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.3.5 Масса зерен одного колоса

В структуре урожая пшеницы основными показателями являются количество продуктивных стеблей на единице площади и масса зерен с одного колоса. В 2019 г. масса зерен в колосе статистически достоверно не изменилась по сравнению с контролем при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (рис. 42). В 2021 г. выявлен рост показателя у сорта Trizo в вариантах опыта: «*Bacillus subtilis* 124-11» – на 60,1% и «*Sphingomonas* sp. K1B» – на 42,0%. В 2022 г. штаммы ассоциативных ризобактерий вызвали значительное увеличение массы зерен в колосе пшеницы: *Bacillus subtilis* 124-11 (сорт Сударыня – 78,3%, сорт Trizo – 188,6%); *Sphingomonas* sp. K1B (сорт Сударыня – 32,4%, сорт Trizo – 190,5%); *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (сорт Сударыня – 75,4%, сорт Trizo – 189,5%).

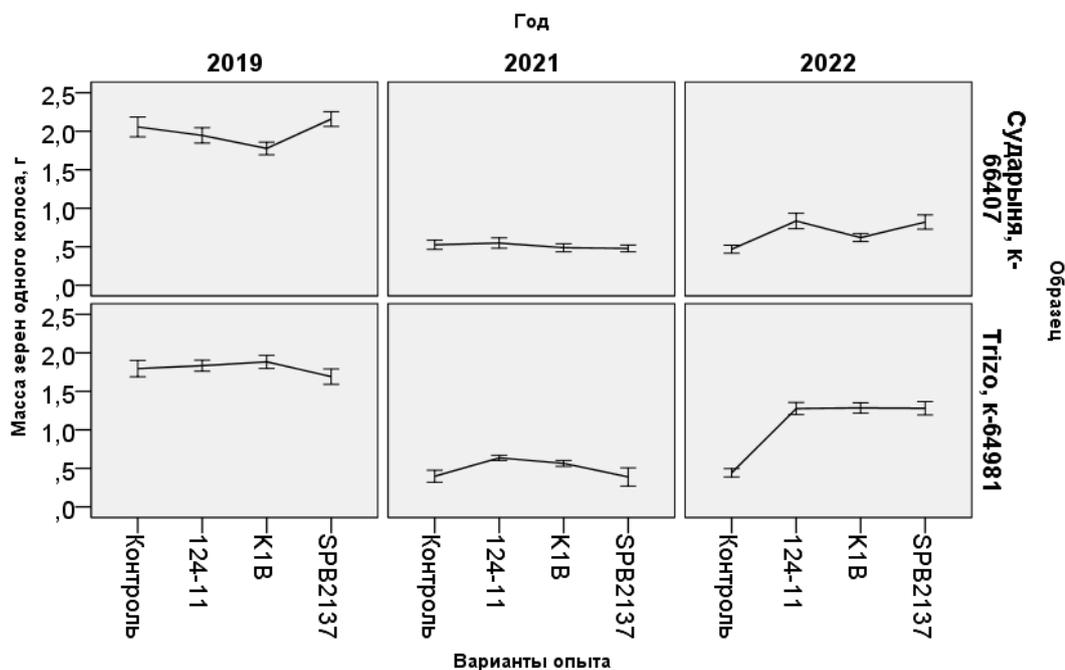


Рисунок 42 – Варьирование массы зерен колоса у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий- (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам пшеницы, в 2019 г. и 2021 г. не выявлено существенного увеличения массы зерен колоса при применении штаммов ассоциативных ризобактерий, а в 2022 г. рост показателя по вариантам опыта составил: *Bacillus subtilis* 124-11 – 140,9%; *Sphingomonas* sp. K1B – 118,5%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 132,3% (рис. 43).

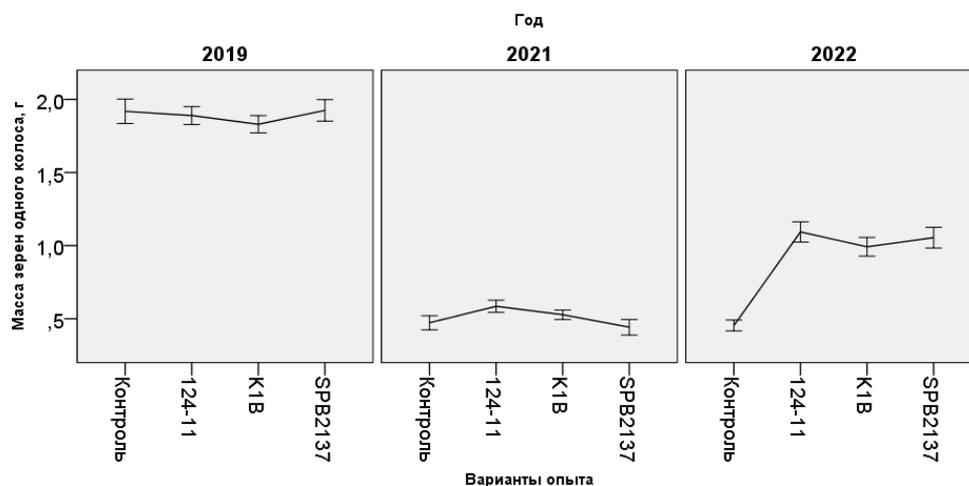


Рисунок 43 – Масса зерен колоса мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по сортам и годам исследования масса зерен колоса существенно выросла в вариантах опыта с бактериальными штаммами *Bacillus subtilis* 124-11 – 21,2% и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 16,3% (рис. 44).

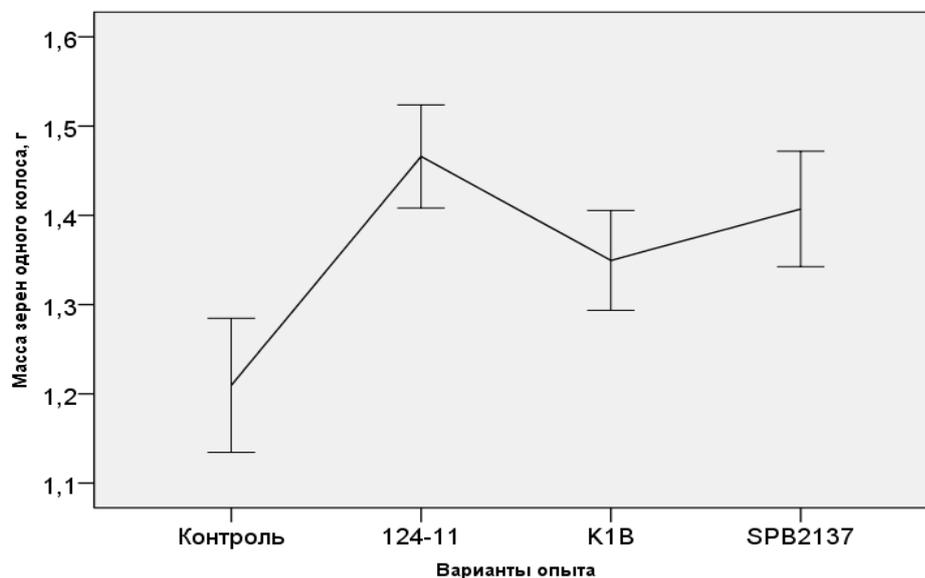


Рисунок 44 – Масса зерен колоса мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo)-(2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.3.6 Масса 1000 зерен

Масса 1000 зерен отражает количество минеральных веществ в виде макро- и микроэлементов, содержащихся в зерне; его крупность зависит от генотипа сорта и агроклиматических условий возделывания пшеницы. За период 2019 г. и 2021 г. не выявлено существенного влияния штаммов ассоциативных ризобактерий на массу 1000 зерен (рис. 45). В 2022 г. применение штаммов ассоциативных ризобактерий приводило к значительному увеличению массы 1000 зерен пшеницы: *Bacillus subtilis* 124-11 (сорт Сударыня – 29,0%, сорт Trizo – 35,4%); *Sphingomonas* sp. K1B (сорт Сударыня – 27,7%, сорт Trizo – 36,9 %); *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (сорт Сударыня – 29,1%, сорт Trizo – 34,5%).

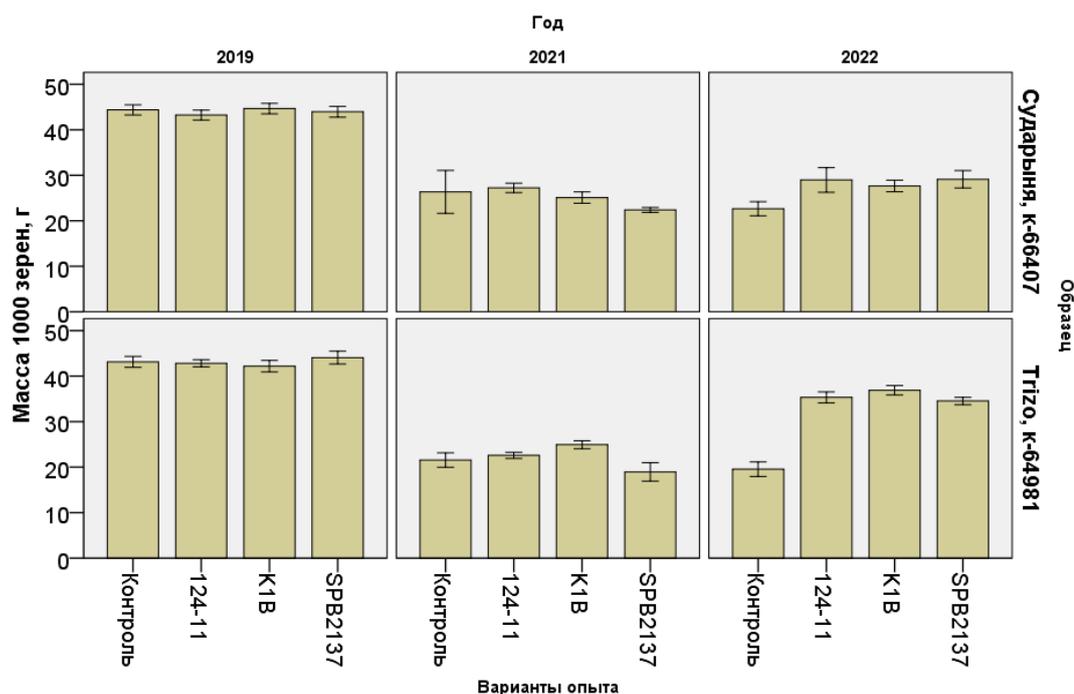


Рисунок 45 – Варьирование массы 1000 зерен у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В 2022 г. в среднем по двум сортам пшеницы рост массы 1000 зерен по вариантам опыта составил: *Bacillus subtilis* 124-11 – 32,7%; *Sphingomonas* sp. K1B – 32,7%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 31,9% (рис. 46).

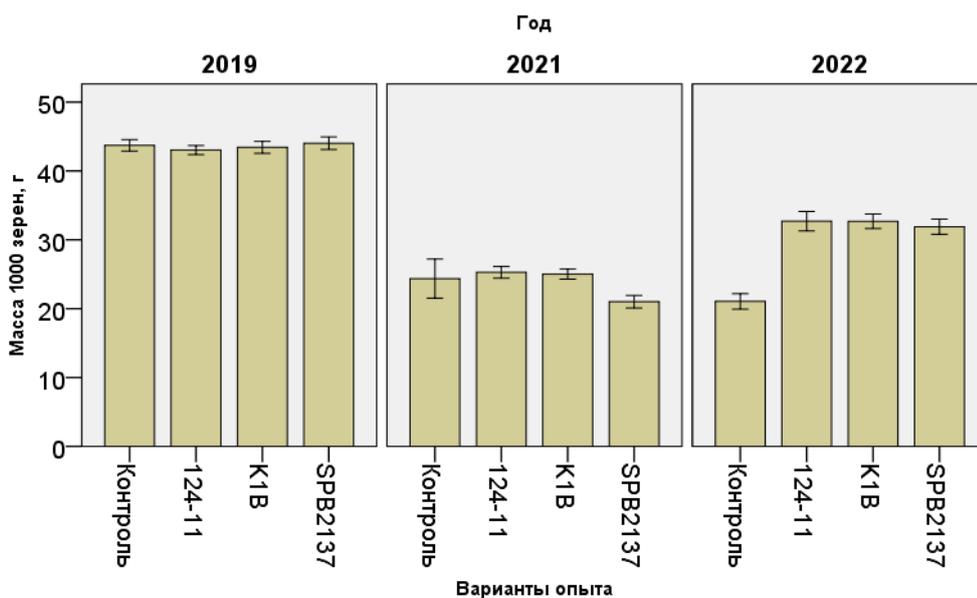


Рисунок 46 – Масса 1000 зерен мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий в разные годы исследования (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем по сортам и годам исследования, масса 1000 зерен пшеницы статистически достоверно выросла при применении штаммов бактерий: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 37,9% и *Sphingomonas* sp. K1B – на 37,2% (рис. 47).

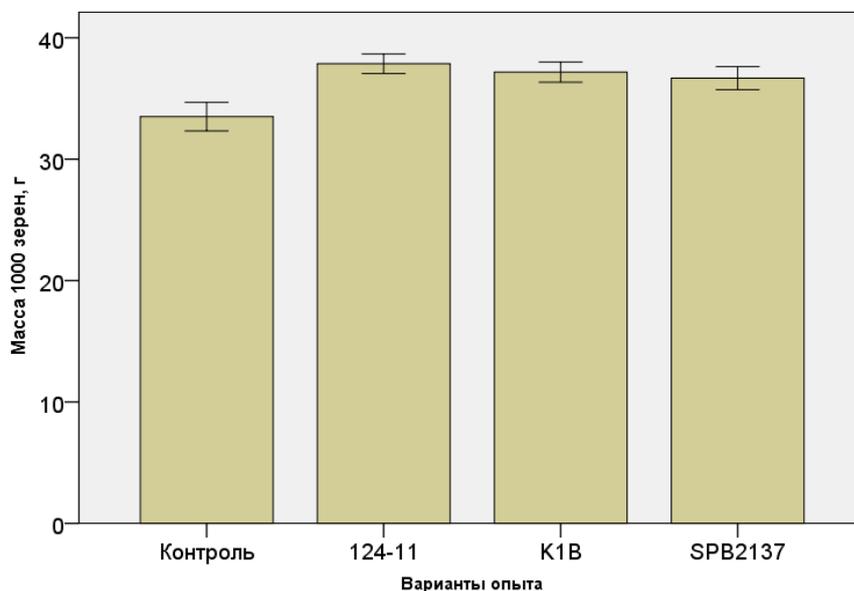


Рисунок 47 – Масса 1000 зерен мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

3.1.3.7 Число зерен в колоске колоса

Непосредственное влияние на урожайность пшеницы оказывает продуктивность колоса, при этом степень продуктивности колоса зависит от числа зерен в колоске колоса и массы зерен в колоске колоса, а также от числа пустых колосков колосе. Согласно рис. 48, в 2022 г. применение штаммов ассоциативных ризобактерий приводило к значительному увеличению числа зерен в колоске колоса: *Bacillus subtilis* 124-11 (сорт Сударыня – 18,3%, сорт Trizo – 17,4%); *Sphingomonas* sp. K1B (сорт Сударыня – 35,6%, сорт Trizo – 11,5 %); *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (сорт Сударыня – 24,2%, сорт Trizo – 24,7%).

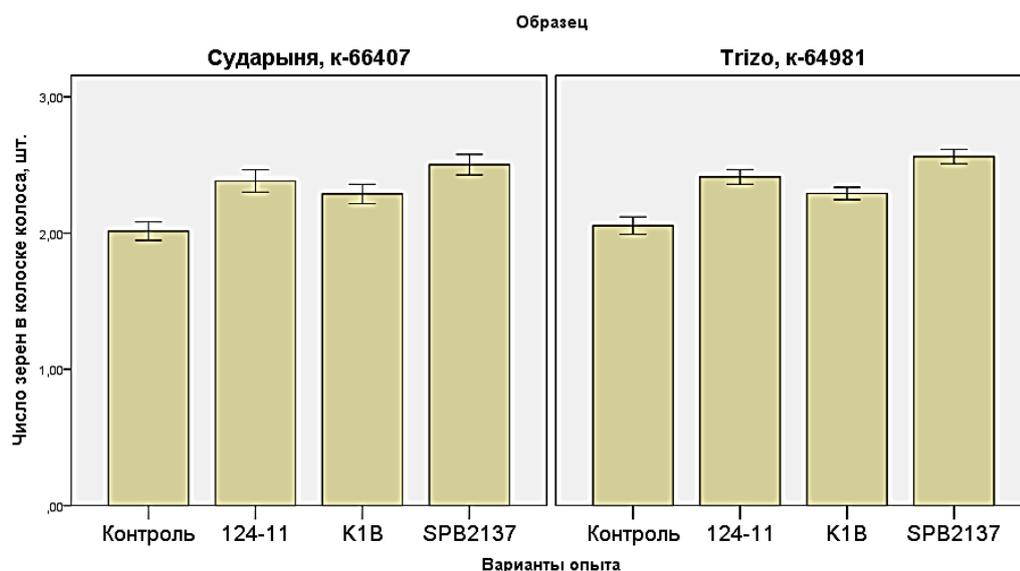


Рисунок 48 – Варьирование числа зерен в колоске колоса у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2022 г.)

Максимальный рост числа зерен в колоске колоса был определен в среднем, по двум сортам мягкой пшеницы, в варианте опыта со штаммом *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – 24,6%. В остальных вариантах опыта с другими штаммами бактерий увеличение показателя составило: «*Bacillus subtilis* 124-11» – 18,0%, *Sphingomonas* sp. K1B – 12,4% (рис. 49).

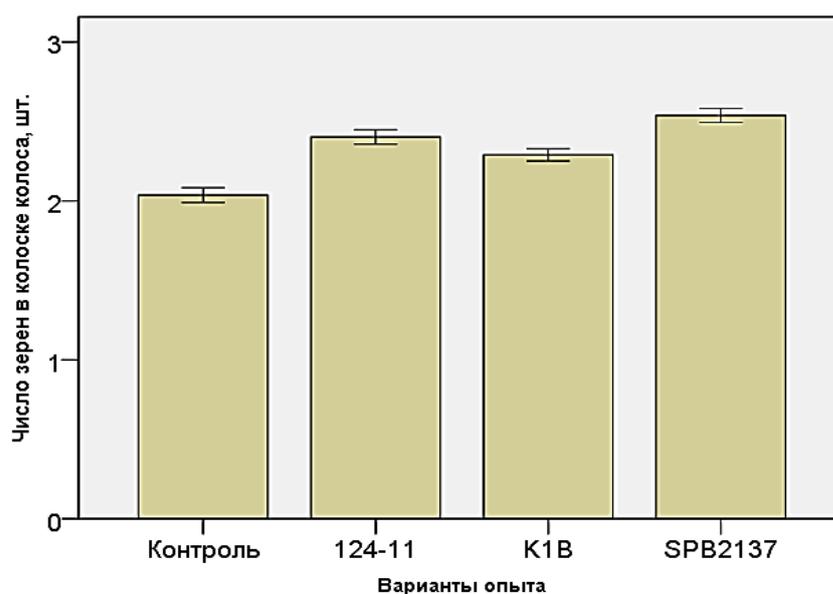


Рисунок 49 – Число зерен в колоске колоса мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo) (2022 г.)

3.1.3.8 Масса зерен в колоске колоса

В 2022 г. штаммы ассоциативных ризобактерий вызывали значительное увеличение числа зерен в колоске колоса (рис. 50): *Bacillus subtilis* 124-11 (сорт Сударыня – 82,3%, сорт Trizo – 87,5%); *Sphingomonas* sp. K1B (сорт Сударыня – 62,6%, сорт Trizo – 75,2 %); *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (сорт Сударыня – 82,6%, сорт Trizo – 99,6%).

В среднем, по двум сортам мягкой пшеницы максимальное увеличение массы зерен в колоске колоса на 93,2% было выявлено в варианте опыта «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» (рис. 51). В остальных вариантах статистически достоверный рост значений показателя составил: «*Bacillus subtilis* 124-11» – 87,0%, «*Sphingomonas* sp. K1B» – 72,3%.

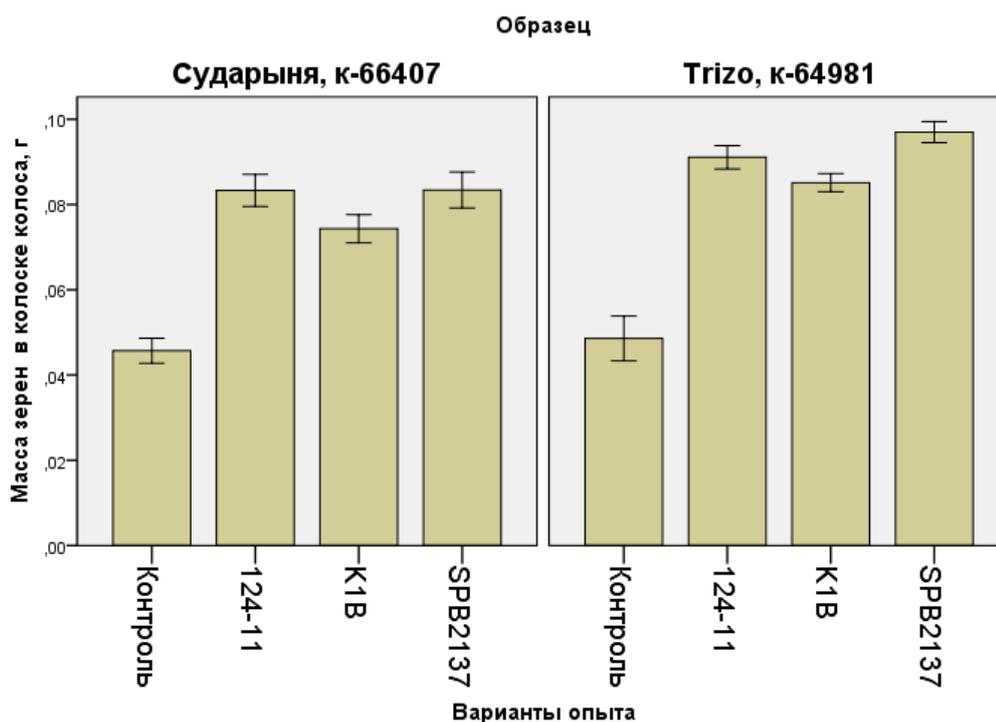


Рисунок 50 – Варьирование массы зерен в колоске колоса у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2022 г.).

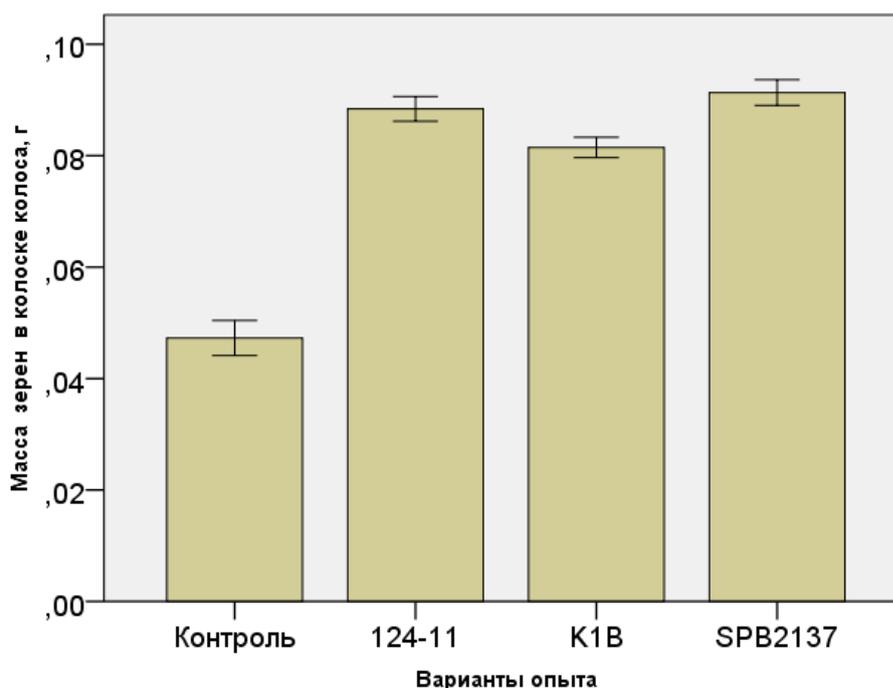


Рисунок 51 – Масса зерен в колоске колоса мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo) (2022 г.).

3.1.3.9 Пустые колоски в колосе

Пустые колоски в колосе существенно снижают урожайность пшеницы и определяют плотность и озерненность колоса. В 2022 г. применение штаммов ассоциативных ризобактерий приводило к значительному снижению числа пустых колосков колосе (рис. 52): *Bacillus subtilis* 124-11 (сорт Сударыня – 1,9%, сорт Trizo – 1,2%); *Sphingomonas* sp. K1B (сорт Сударыня – 0,9%, сорт Trizo – 1,5 %); *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (сорт Сударыня – 0,3%, сорт Trizo – 1,5%).

В среднем, по двум сортам, статистически достоверное снижение числа пустых колосков в колосе было обнаружено в вариантах опыта: «*Bacillus subtilis* 124-11» – 1,1%; «*Sphingomonas* sp. K1B» – 1,2% (рис. 53).

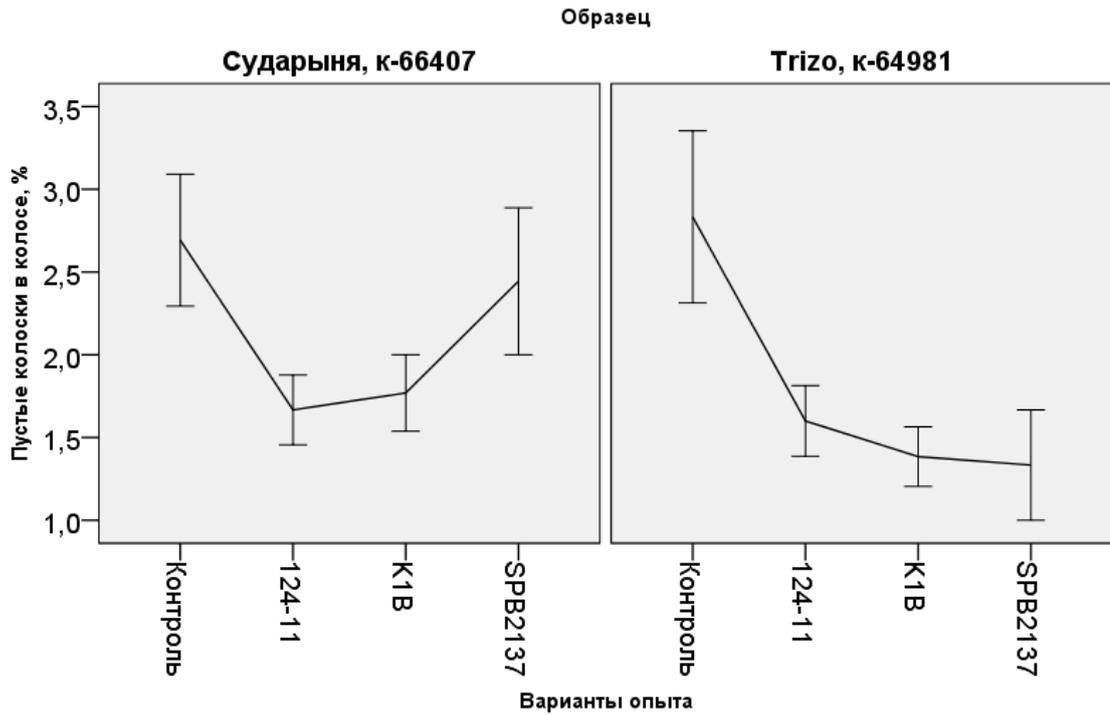


Рисунок 52 – Варьирование пустых колосков в колосе у сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2022 г.).

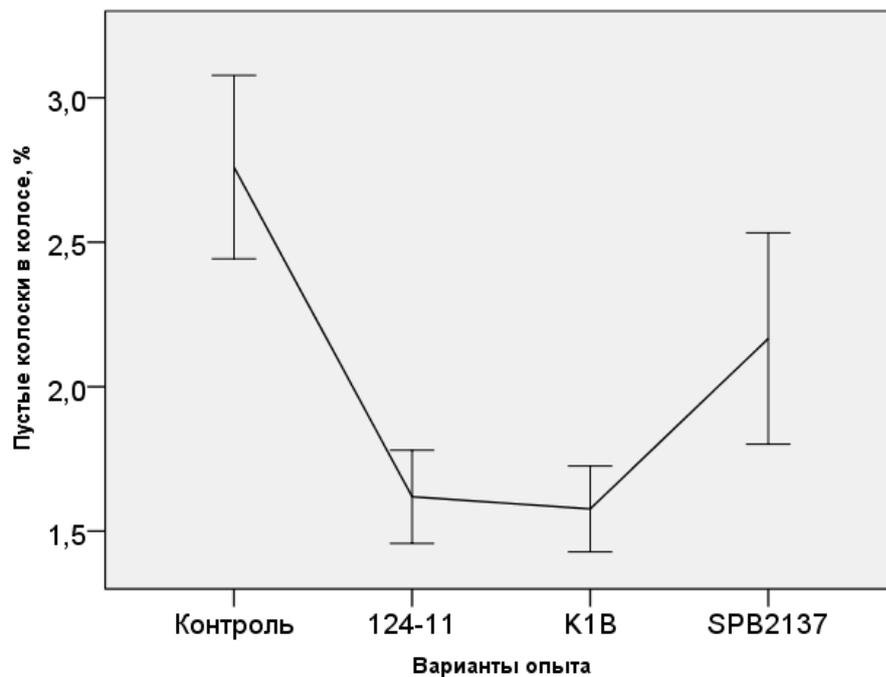


Рисунок 53 – Пустые колоски в колосе мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo) (2022 г.).

3.2 Агрэколагічнае вар'іраванне прадуктывнасці і ўрожайнасці мягкой пшеницы пры прымяненні штаммоў асоцыятыўных ризобактэрыяў

Согласно данным рис. 54 и 55, в 2019 г. максимальные величины продуктивности Y_p и урожайности Y_n пшеницы зарегистрированы в вариантах опыта со штаммами «*Bacillus subtilis* 124-11» (сорт Сударыня, к-66407: $Y_p=3,82\pm 0,24$ г/растение и $Y_n=5,59\pm 0,38$ т/га) и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (Trizo, к-64981: $Y_p=3,14\pm 0,23$ г/растение и $Y_n=4,71\pm 0,35$ т/га). Изменение указанных показателей по сравнению с контролем составило 50,3%; 46,6% и 5,4%; 10,9%, соответственно.

В 2021 г. определен значительный рост продуктивности и урожайности сорта Trizo, к-64981 – на 368,6% по сравнению с контролем ($Y_p=0,4\pm 0,08$ г/растение и $Y_n=0,80\pm 0,16$ т/га) в вариантах опыта «*Bacillus subtilis* 124-11» ($Y_p=1,86\pm 0,09$ г/растение и $Y_n=3,73\pm 0,18$ т/га) и «*Sphingomonas* sp. K1B» ($Y_p=1,08\pm 0,09$ г/растение и $Y_n=2,15\pm 0,18$ т/га), что было связано с низкими значениями показателей в контроле. Однако в 2021 г. указанные изменения показателей пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий по сравнению с 2019 г. и 2022 г. не были сильно выражены.

В 2022 г. все бактериальные штаммы оказали статистически достоверное влияние на рост продуктивности и урожайности сортов Сударыня, к-66407 и Trizo, к-64981. Максимальную эффективность проявил штамм *Sphingomonas* sp. K1B, применение которого, в частности, на сорте Trizo, к-64981, обуславливало рост указанных показателей с $Y_p=0,44\pm 0,05$ г/растение и $Y_n=0,33\pm 0,04$ т/га – в контроле до $Y_p=4,90\pm 0,29$ г/растение и $Y_n=8,33\pm 0,49$ т/га – в варианте опыта.

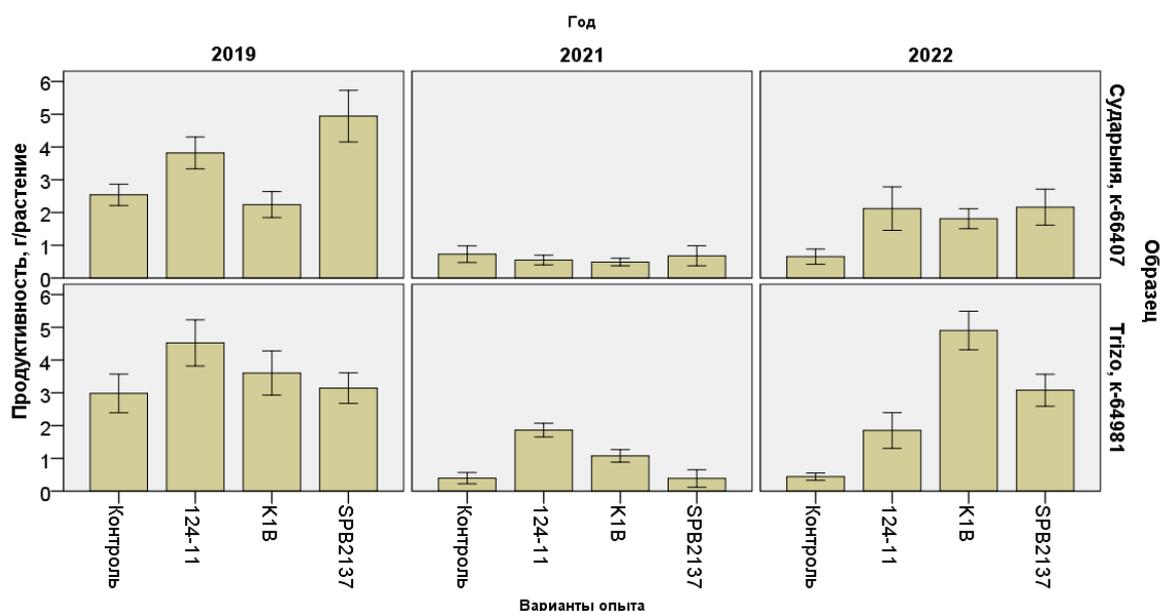


Рисунок 54 – Варьирование продуктивности сортов Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

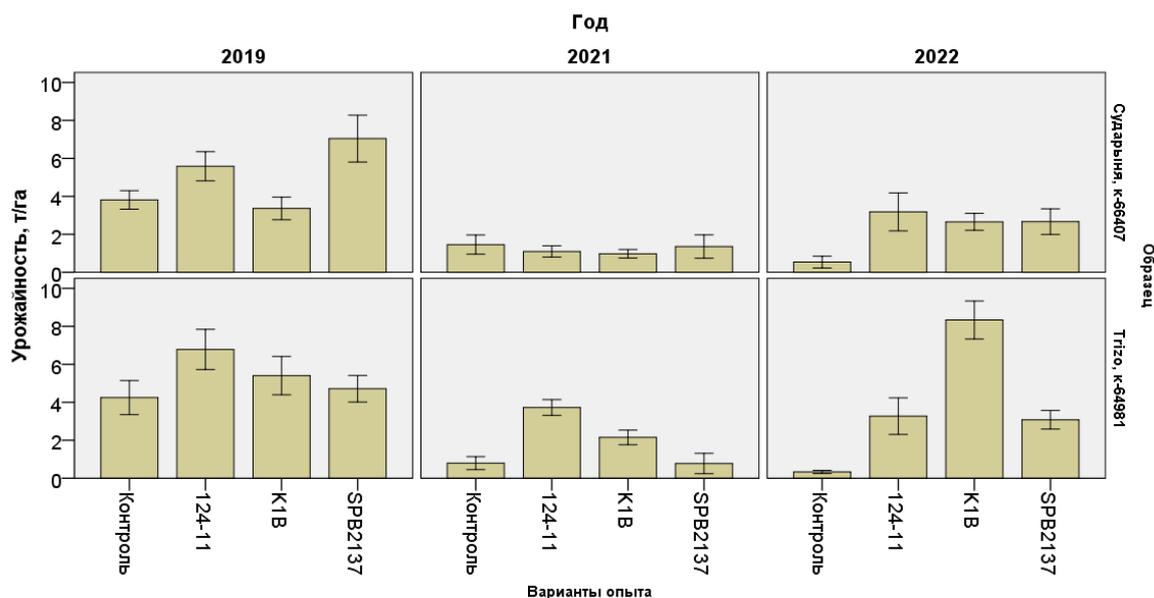


Рисунок 55 – Варьирование урожайности сортов Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В среднем, по двум сортам (рис. 56 и 57), максимальные величины продуктивности ($Y_p=4,18\pm0,21$ г/растение) и урожайности ($Y_{п}=6,19\pm0,33$ т/га) пшеницы выявлены в 2019 г. в варианте опыта со штаммом *Bacillus subtilis* 124-11, что было существенно больше – на 50,7% и 52,9% по сравнению с контролем ($Y_p=2,77\pm0,17$ г/растение; $Y_{п}=4,04\pm0,26$ т/га). Кроме того, в том

году был отмечен значительный рост вышеуказанных показателей – на 45,1% ($Y_p=4,02\pm 0,24$ г/растение) и 45,3% ($Y_n=5,88\pm 0,37$ т/га), соответственно, в варианте опыта со штаммом «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137».

В 2021 г. эффективность бактериальных штаммов в отношении продуктивности и урожайности пшеницы была значительно ниже, чем в 2019 г. и 2022 г. Однако, в варианте опыта «*Bacillus subtilis* 124-11» выявлен статистически достоверный рост показателей по сравнению с контролем ($Y_p=0,59\pm 0,08$ г/растение; $Y_n=1,18\pm 0,16$ т/га) – на 86,0%: $Y_p=1,10\pm 0,16$ г/растение; $Y_n=2,20\pm 0,32$ т/га).

В 2022 г. все вышеперечисленные бактериальные штаммы оказали существенное влияние на продуктивность и урожайность мягкой пшеницы, но наибольшие величины показателей были выявлены в варианте опыта «*Sphingomonas* sp. K1B» ($Y_p=3,54\pm 0,28$ г/растение; $Y_n=5,84\pm 0,49$ т/га).

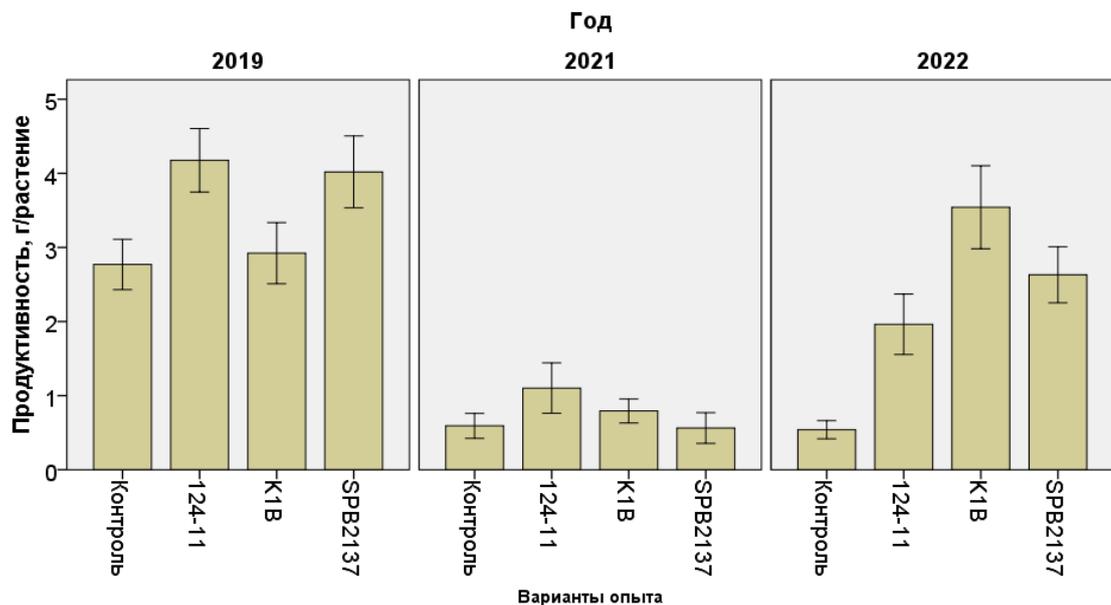


Рисунок 56 – Динамика продуктивности мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

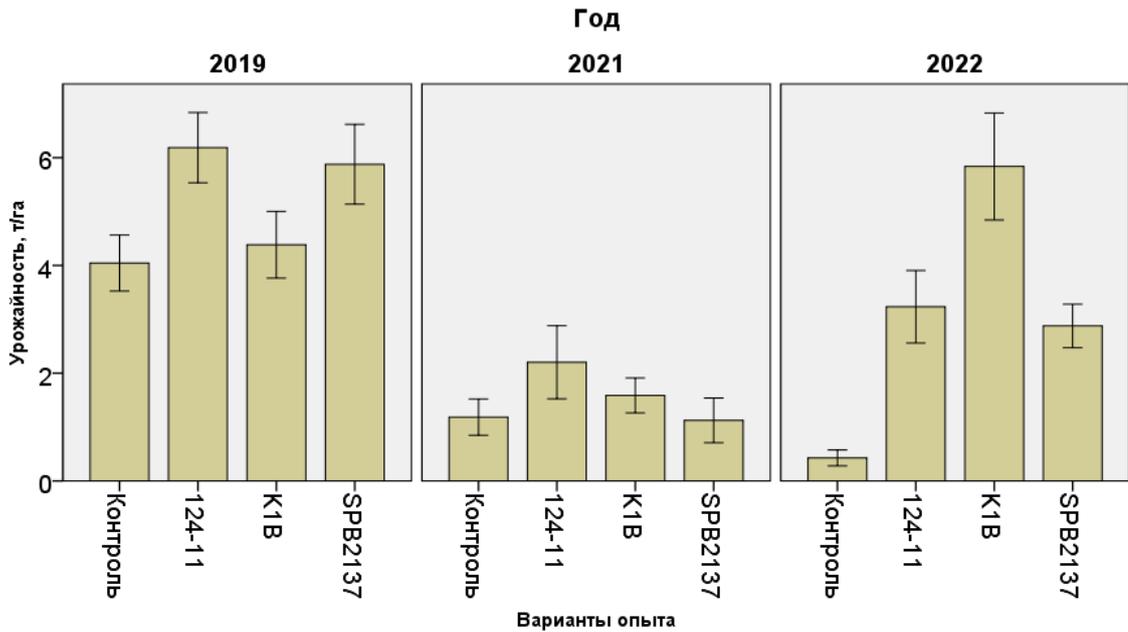


Рисунок 57 – Динамика урожайности мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Высокие значения урожайности и продуктивности пшеницы в 2019 г. по сравнению с 2021 г. и 2022 г., возможно, были связаны с более благоприятными метеорологическими условиями роста и развития пшеницы в этом году (гидротермический коэффициент $ГТК_{июль}=0,98$; $ГТК_{август}=0,92$; сумма температур в мае выше 10°C со дня посева – 11 мая $T_{май}=228,12^{\circ}\text{C}$, сумма осадков в мае со дня посева $W_{май} = 72,0$ мм; сумма температур в июне $T_{июнь}=529,7^{\circ}\text{C}$; сумма осадков в июне $W_{июнь} = 33,9$ мм; сумма температур в июле $T_{июль}=479,7^{\circ}\text{C}$; сумма осадков в июне $W_{июнь} = 58,0$ мм; сумма температур в августе $T_{август}=478,0^{\circ}\text{C}$; сумма осадков в августе $W_{август} = 24,9$ мм). Кроме того, в данном году отмечена минимальная активность Солнца: число пятен на Солнце в среднем за год $N_{г.п.} = 3,6$; число пятен на Солнце в июле $N_{июль.п.} = 0,9$; число Вольфа в июле $V_{июль}=0,7$).

Минимальные значения урожайности и продуктивности пшеницы в 2021 г. были связаны с жарким и засушливым вегетационным периодом возделывания пшеницы. Были зарегистрированы высокие значения температуры в мае $T_{май}=289,1^{\circ}\text{C}$, июне $T_{июнь}=590,4^{\circ}\text{C}$, июле $T_{июль}=837,7^{\circ}\text{C}$. При этом в июне и июле выпало очень незначительное количество осадков:

$W_{\text{июнь}} = 10,7$ мм, $W_{\text{июль}} = 5,7$ мм, а в августе, наоборот, сумма осадков составила $W_{\text{август}} = 122,5$ мм. Активность Солнца в 2021 г. резко возросла по сравнению с 2019 г.: $N_{\text{г.п.}} = 29,6$; $N_{\text{июль.п.}} = 34,3$; $V_{\text{июль}} = 35,9$. Значения ГТК в июле – 1,95, августе – 2,58.

Метеорологические условия вегетационного периода роста и развития пшеницы в 2022 г. отличались минимальной суммой осадков в мае $W_{\text{май}} = 4,3$ мм и максимальной – в августе $W_{\text{май}} = 544,9$ мм. Значения ГТК в июле – 1,20, августе – 2,54. Активность Солнца была максимальной: $N_{\text{г.п.}} = 83,1$; $N_{\text{июль.п.}} = 91,4$; $V_{\text{июль}} = 110$.

В среднем, по сортам и годам исследования (рис. 58 и 59), все штаммы ассоциативных ризобактерий оказали существенное влияние на урожайность и продуктивность мягкой пшеницы. Однако наибольшее изменение продуктивности (на 83,1%) и урожайности (на 95,2%) мягкой пшеницы по сравнению с контролем выявлено в варианте опыта с использованием штамма *Bacillus subtilis* 124-11.

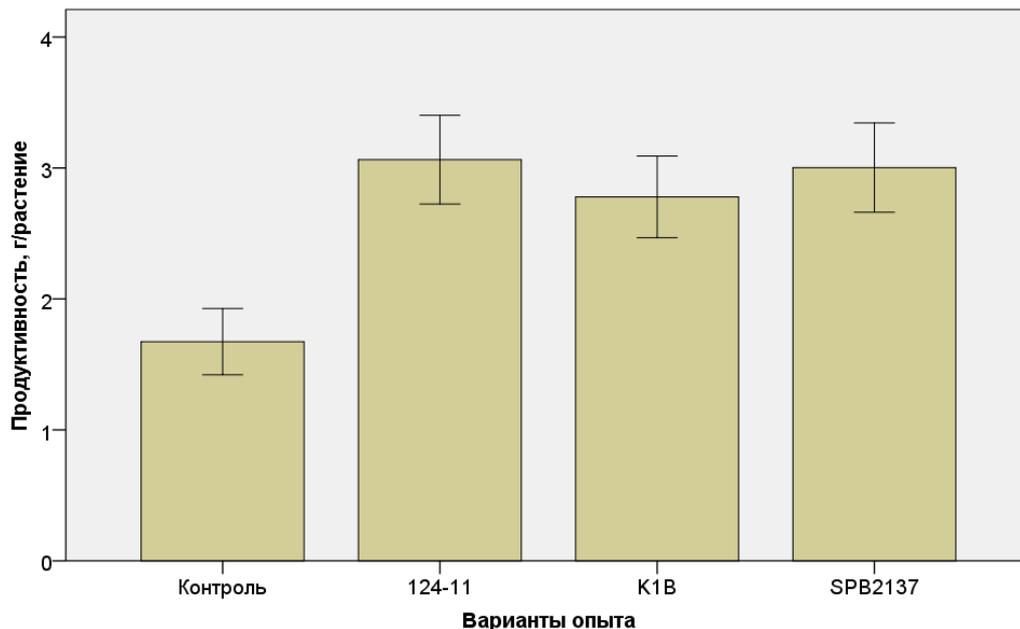


Рисунок 58 – Продуктивность мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (Сударыня и Trizo. (2019, 2021, 2022 гг.)

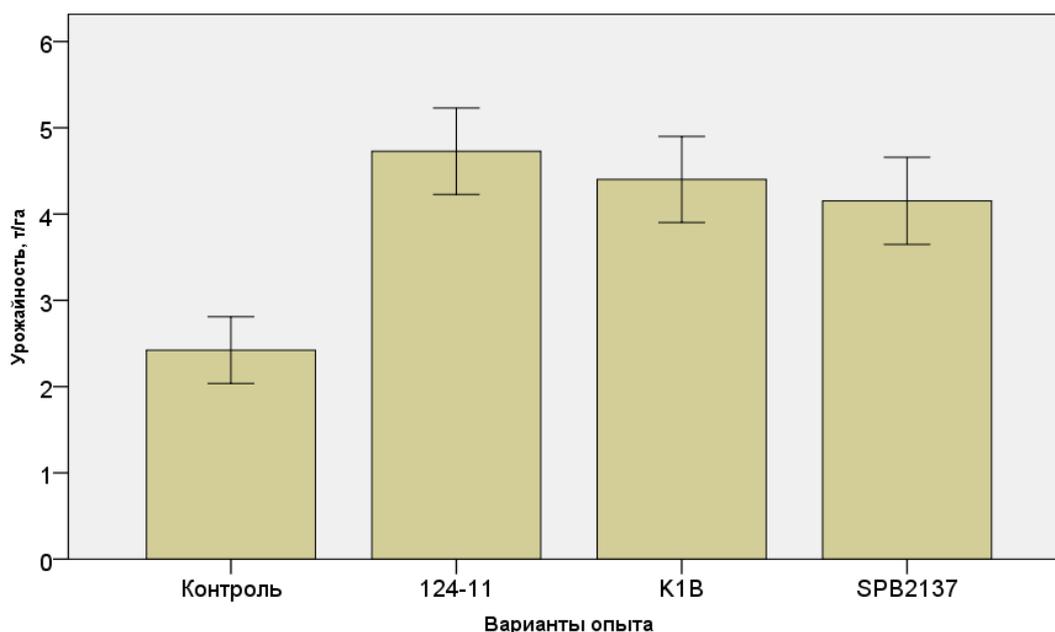


Рисунок 59 – Урожайность мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам (2019, 2021, 2022 гг.)

3.3 Интенсивность поражения мягкой пшеницы особо опасными болезнями при применении штаммов ассоциативных ризобактерий

Гельминтоспориозная корневая гниль. В 2019 г. выявлено статистически достоверное снижение интенсивности развития гельминтоспориозной корневой гнили у растений сорта Сударыня $P < 0,05$ при применении штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 – на 29,8% и *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 27,4% (рис. 60). При $P > 0,05$ в данном году отмечена тенденция снижения развития болезни на сорте Trizo. В 2021 г. развитие корневой гнили существенно снизилось на сорте Сударыня во всех вариантах опыта, но наиболее выражено – при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B – на 32,5% («*Bacillus subtilis* 124-11» – на 24,0%; «*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 27,5%). В указанном году симптомов поражения болезнью сорта Trizo не выявлено. В 2022 г. развитие болезни на двух сортах пшеницы в вариантах опыта со штаммами ассоциативных бактерий существенно не различалось с контролем, однако выявлена тенденция снижения развития болезни при их применении.

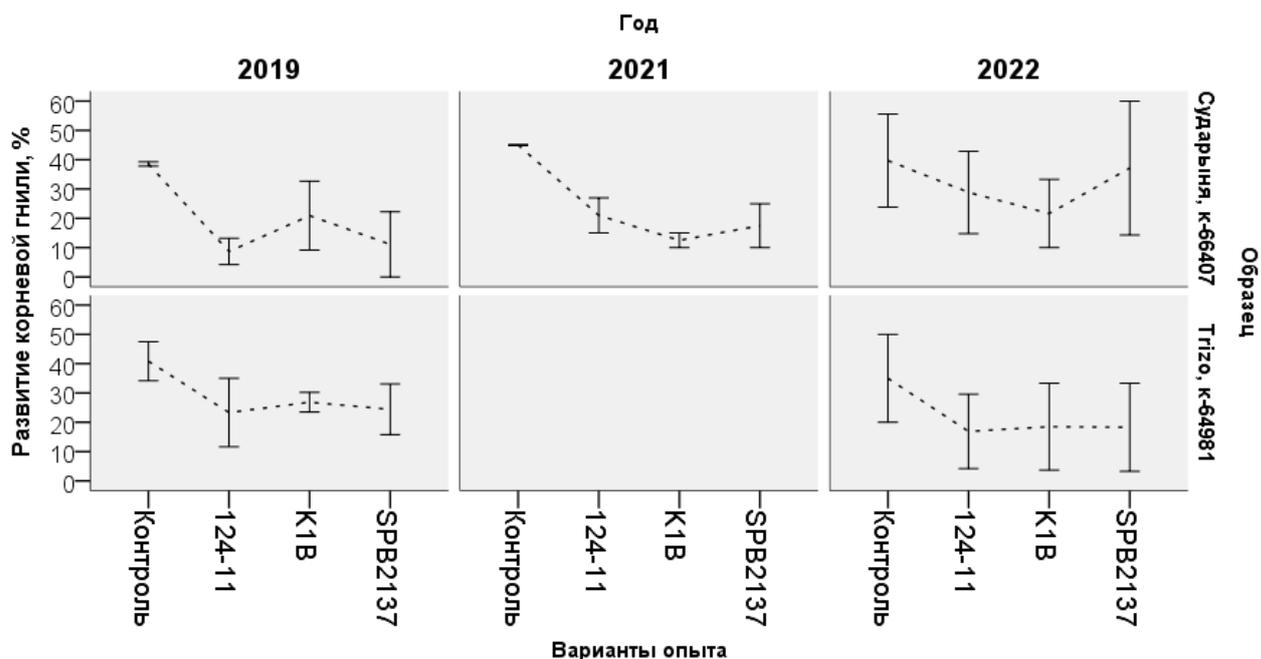


Рисунок 60 – Варьирование интенсивности поражения сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo гельминтоспориозной корневой гнилью при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

В 2019 г. и 2021 г. штаммы ассоциативных ризобактерий обуславливали значительное снижение развития гельминтоспориозной корневой гнили: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 23,7% и 24,0%; *Sphingomonas* sp. K1B – на 15,8% и 32,5%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 21,9% и 27,5%, соответственно (рис. 61).

В среднем, по сортам и годам исследования, все штаммы ассоциативных бактерий существенно снизили развитие корневой гнили пшеницы: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 20,9%; *Sphingomonas* sp. K1B – на 19,0%; *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 18,7% (таблица А2 приложения А, рис. 62).

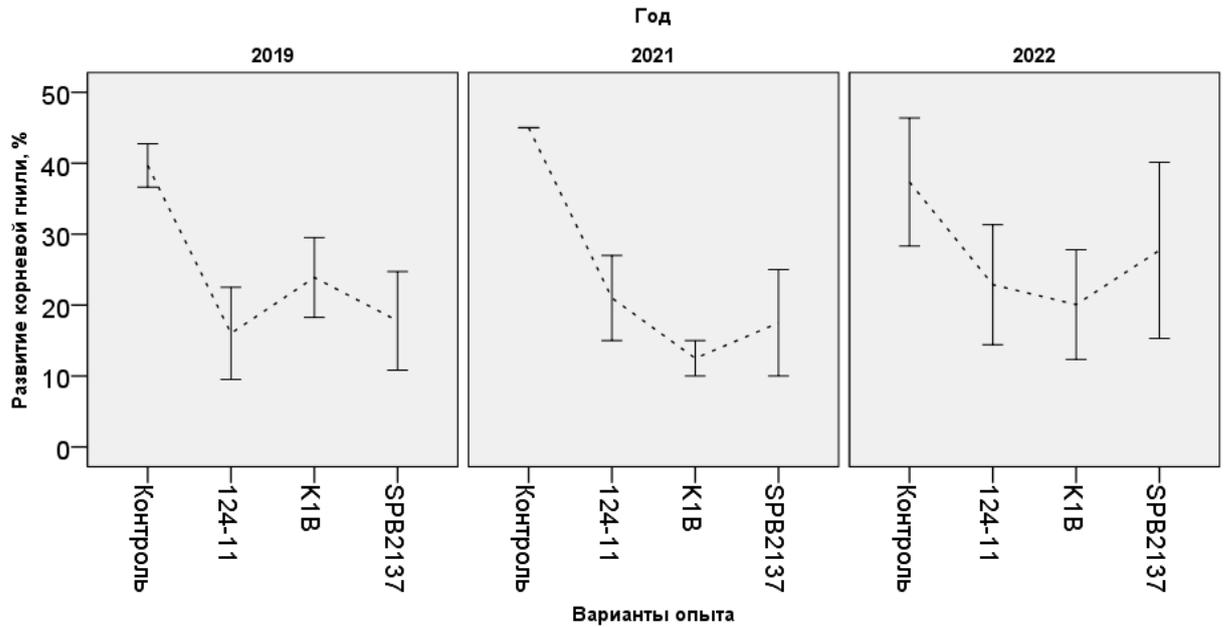


Рисунок 61 – Динамика развития гельминтоспориозной корневой гнили мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

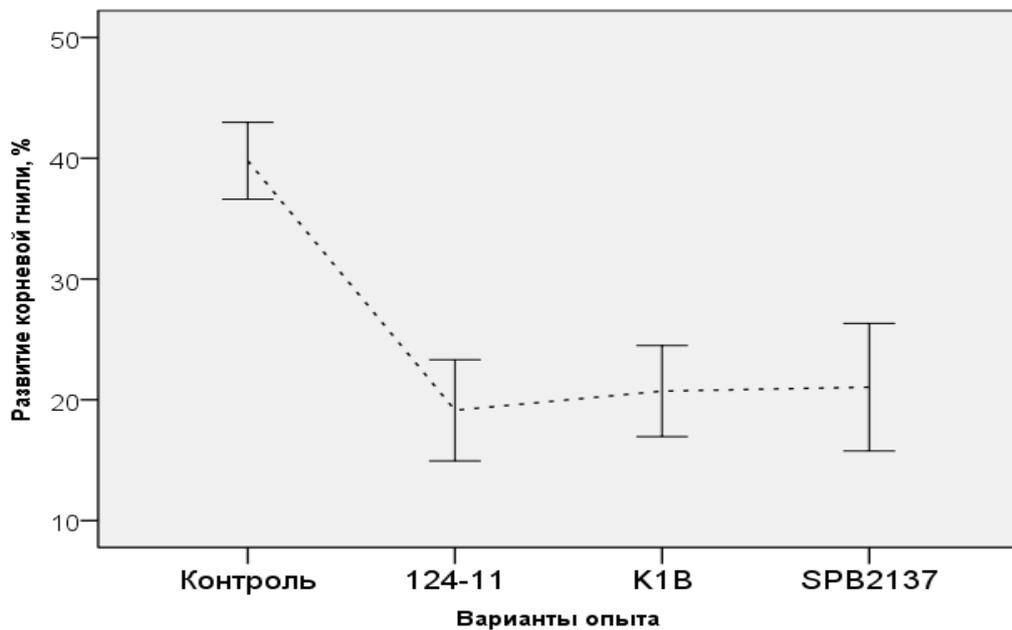


Рисунок 62 – Гельминтоспориозная корневая гниль мягкой пшеницы при применении штаммов ассоциативных бактерий в среднем по двум сортам мягкой пшеницы (Сударыня и Trizo) (2019, 2021, 2022 гг.)

Мучнистая роса пшеницы. Интенсивность поражения мучнистой росой сорта Сударыня было незначительно, поэтому эффективность бактериальных штаммов оценивали по степени снижения развития болезни на сорте Trizo в вариантах опыта по сравнению с контролем. На данном сорте развитие болезни существенно снизилось на 7,4% при применении только штамма *Sphingomonas* sp. K1B (рис. 63).

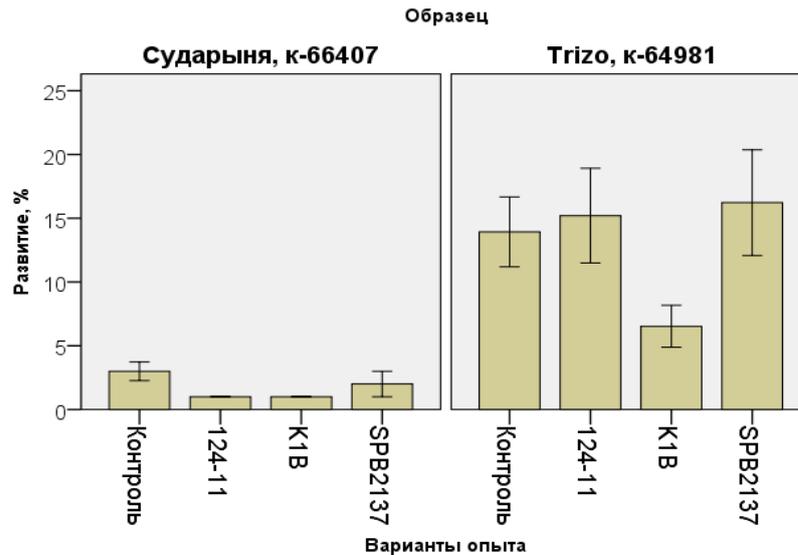


Рисунок 63 – Интенсивность развития мучнистой росы на сортах мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Буряя ржавчина пшеницы. Сорт Trizo значительно сильнее поражен возбудителем бурой ржавчины, чем сорт Сударыня, особенно в 2019 г. В варианте опыта, где растения сорта Trizo в указанном году были обработаны штаммом *Sphingomonas* sp. K1B, зарегистрировано статистически достоверное снижение развития болезни – на 10,8% (рис. 64).

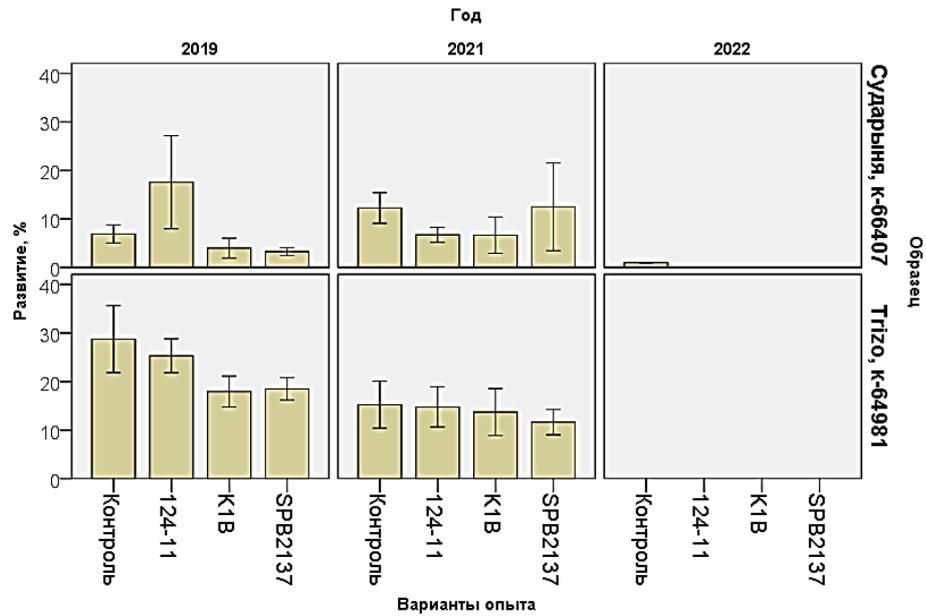


Рисунок 64 – Варьирование интенсивности поражения сортов мягкой пшеницы Сударыня и Trizo бурой ржавчиной при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Желтая ржавчина пшеницы. Статистически достоверное снижение развития болезни (на 10,8%) за период 2019-2022 г. было выявлено на сорте Сударыня в варианте опыта с использованием штамма *Sphingomonas* sp. K1B: число полос с пустулами снизилось на 37,0%, длина полосы с пустулами – на 13,8%, число пустул в полосе – на 39,0% (рис. 65).

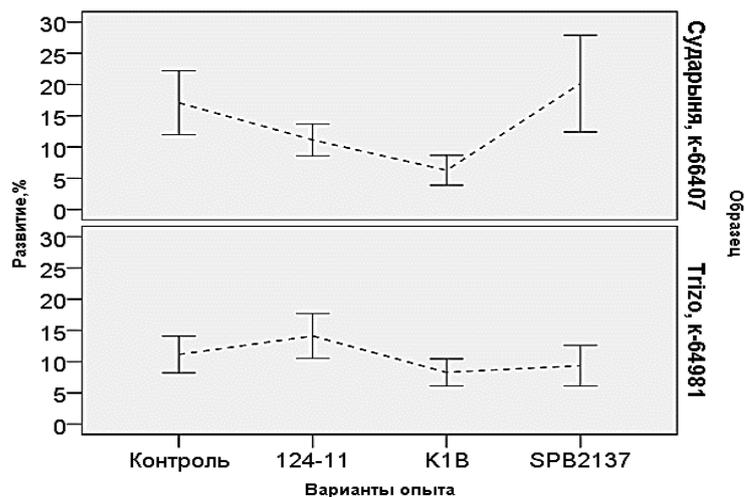


Рисунок 65 – Интенсивность развития желтой ржавчины на сортах мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Как следует из данных рис. 66, на сорте Сударыня зарегистрировано существенное снижение площади пустулы желтой ржавчины при применении всех штаммов ассоциативных ризобактерий: *Bacillus subtilis* 124-11 – на 35,1%, *Sphingomonas* sp. K1B – на 29,8%, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 46,7%.

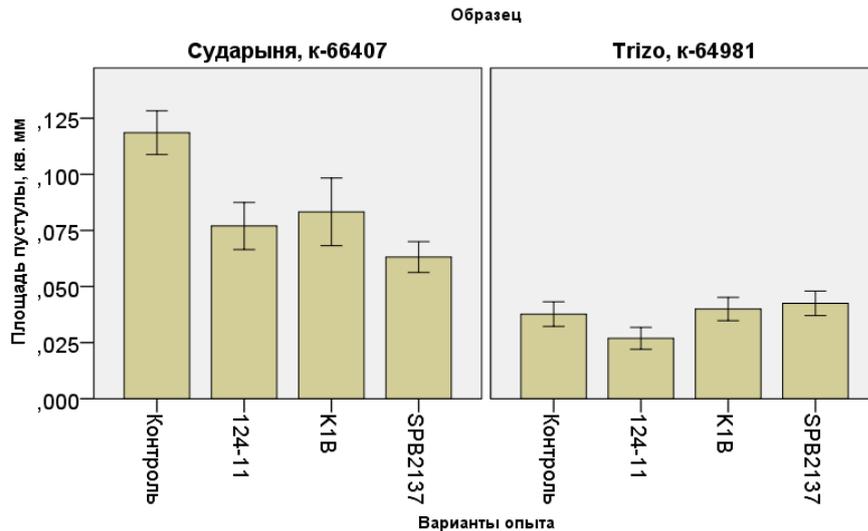


Рисунок 66 – Площадь пустулы желтой ржавчины на сортах мягкой пшеницы Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

3.4 Системный анализ фитометрических и фитопатологических показателей посевов пшеницы при применении штаммов ассоциативных ризобактерий

Многофакторный подход к анализу комплекса фитометрических и фитопатологических показателей позволил определить тенденции в их изменении и выявить относительное число параметров, величины которых отличались статистически значимыми изменениями по сравнению с контролем при применении штаммов ассоциативных ризобактерий.

Как следует из данных рис. 67, за период 2019-2022 гг. наибольшее число фитометрических показателей, значения которых достоверно выросли по сравнению с контролем при $P < 0,05$, было выявлено у сорта Сударыня в варианте опыта с применением штамма *Bacillus subtilis* 124-11 – 52,4%; у сорта Trizo – в вариантах с «*Bacillus subtilis* 124-11» (66,7%) и «*Sphingomonas* sp.

К1В» (66,7%), а в среднем по двум сортам – при использовании штамма «*Bacillus subtilis* 124-11» (81,0%).

В среднем за период 2019-2022 гг., применение штамма «*Bacillus subtilis* 124-11» на сортах Сударыня, к-66407 и Trizo обуславливало увеличение значений следующих показателей: полевой всхожести (23,6%), фазы онтогенеза (9,3%), высоты растений (10,0%), числа (36,0%), длины (37,4%) первичных корней, числа (16,8%) и длины (40,8%) узловых корней, массы корней (39,8%), продуктивной кустистости (41,4%), площади предфлагового листа (18,3%), числа колосков в колосе (5,2%), массы колоса (18,6%), числа зерен в колосе (15,5%), массы зерен одного колоса (21,2%), массы 1000 зерен (13,0%), числа (18,0%) и массы зерен (87,0%) в колоске колоса.

Статистически достоверное увеличение значений у 85,7% фитометрических показателей относительно контроля (2019-2022 гг.) при применении штамма *Bacillus subtilis* 124-11 на мягкой пшенице сорта Сударыня было обусловлено существенным снижением ($P < 0,05$) поражения растений гельминтоспориозной корневой гнилью (на 22,7%), мучнистой росой (развитие болезни – 2%, число пятен с налетом – 60,3%, площадь пятен с налетом – 77,5%), желтой ржавчиной (площадь пустулы – 35,1%).

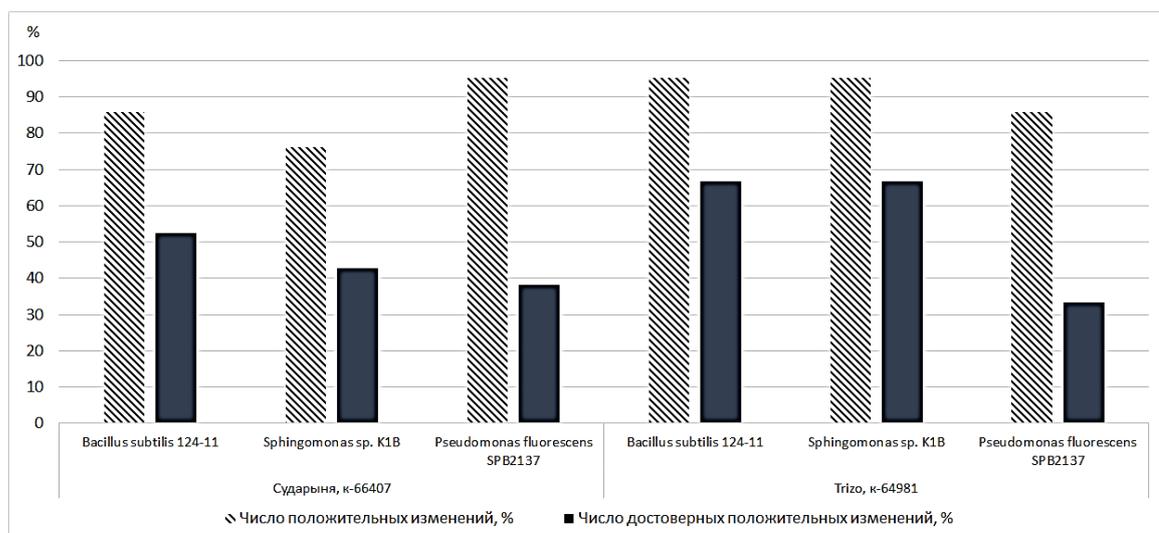


Рисунок 67 – Относительное число фитометрических показателей посевов мягкой пшеницы, значения которых выросли и достоверно выросли ($P < 0,05$) при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Наибольшее влияние на уменьшение развития особо опасных болезней мягкой пшеницы ($P < 0,05$), в среднем по сортам Сударыня и Trizo (2019-2022 гг.), оказал штамм *Sphingomonas* sp. K1B (рис. 68 и 69).



Рисунок 68 – Относительное число фитопатологических показателей развития особо опасных болезней мягкой пшеницы сорта Сударыня, значения которых выросли и достоверно выросли ($P < 0,05$) при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.).



Рисунок 69 – Относительное число фитопатологических показателей развития особо опасных болезней мягкой пшеницы сорта Trizo, значения которых выросли и достоверно выросли ($P < 0,05$) при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Применение указанного штамма бактерий обуславливало оздоровление фитосанитарного состояния посевов, о чем свидетельствует выявленная тенденция снижения значений комплекса фитопатологических показателей: развития корневой гнили (19,1%), развития мучнистой росы (5,6%), числа

пятен с налетом мучнистой росы (51,5%), развития желтой ржавчины (6,8%), числа полос с пустулами желтой ржавчины (34,4%), числа пустул в полосе желтой ржавчины (32,1%).

3.5 Содержание фотосинтетических пигментов в листьях мягкой пшеницы при использовании штаммов ассоциативных ризобактерий

Статистически достоверный рост содержания хлорофилла *a* при $P < 0,05$ зарегистрирован во флаговых листьях у сортов Сударыня (на 27,9%) и Trizo (на 14,6%) при применении штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 (таблица 1).

Таблица 1– Содержание хлорофиллов *a* и *b* во флаговых листьях пшеницы сортов Сударыня и Trizo при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2022 г.)

Варианты опыта	Сорт	Содержание хлорофилла <i>a</i> , мг/г	Содержание хлорофилла <i>b</i> , мг/г	Содержание хлорофилло в <i>a + b</i> (мг/г)
Контроль (вода)	Сударыня, к-66407	1,05 ±0,05	2,88 ±0,80	3,92 ±1,00
	Trizo, к-64981	0,92 ±0,03	3,38 ±0,40	4,30 ±0,90
	В среднем по сортам	0,98 ±0,03	3,13 ±0,25	4,11 ±0,19
<i>Bacillus subtilis</i> 124-11	Сударыня, к-66407	1,09 ±0,01	3,65 ±1,10	4,74 ±1,10
	Trizo, к-64981	0,99* ±0,02	3,42 ±0,90	4,41 ±1,30
	В среднем по сортам	1,04 ±0,01	3,54 ±0,12	4,57 ±0,17
<i>Sphingomonas</i> sp. K1B	Сударыня, к-66407	0,85 ±0,04	3,02 ±0,80	3,87 ±0,90
	Trizo, к-64981	0,81 ±0,24	2,28 ±0,59	3,09 ±0,83
	В среднем по сортам	0,82 ±0,12	2,53 ±0,42	3,35 ±0,55
<i>Pseudomonas fluorescens</i> SPB2137	Сударыня, к-66407	1,34 ±0,06	4,68 ±1,1	6,02 ±1,2
	Trizo, к-64981	1,05	3,07	4,12
	В среднем по сортам	±1,20	±3,87	±5,07

* – различия с контролем достоверны при $P < 0,05$

В среднем, по двум сортам, величина содержания хлорофилла *a* увеличилась на 21,7% по сравнению с контролем. Кроме того, в указанном варианте опыта на сорте Сударыня отмечен рост содержания в листьях хлорофилла *b* (на 62,6%), который, по данным Иванова и др. (2013), отвечает за усиление работы антенной фотосистемы II в стрессовых ситуациях. Применение штамма *Bacillus subtilis* 124-11 приводило к увеличению хлорофилла *a* (на 7,6%) только у сорта Trizo.

Существенно большее суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* (на 11,3%) во флаговых листьях у двух указанных сортов выявлено при использовании штамма *B. subtilis* 124-11.

С использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена было установлено, что увеличение содержания в листьях пшеницы хлорофилла *a* определяло рост вегетативной массы растений ($r=0,7$), массы колоса ($r=0,8$), числа и массы зерен в колоске колоса ($r=0,8$), а хлорофилла *b* – числа узловых корней ($r=0,8$), массы корней ($r=0,9$).

Полученные результаты исследования подтверждают тот факт, что содержание хлорофилла в листьях пшеницы является модификационным признаком и регулируется агротехническими приемами, в том числе связанными с использованием ассоциативных ризобактерий. Влияние ассоциативных ризобактерий на фотосинтетические пигменты нестабильно, и может коррелировать с комплексом факторов, которые требуют дополнительных исследований (Alipoor et al., 2012). Однако, по имеющимся данным, применение ассоциативных ризобактерий позволяет нивелировать неблагоприятные условия внешней среды (Маринкина, Маркс, 2014), оптимизировать минеральное питание растений, что положительно влияет на эффективность работы фотосинтетического аппарата.

3.6 Экономическое обоснование применения штаммов ассоциативных ризобактерий в технологии возделывания мягкой пшеницы

Известно, что бактериальные биопрепараты имеют значительно более низкую цену, чем агрохимикаты и синтетические средства защиты растений. Кроме того, в производственных условиях рекомендовано осуществлять не более двух обработок сельскохозяйственных культур биопрепаратами, независимо от их препаративной формы (жидкой или порошкообразной). Применение биопрепаратов позволяет минимизировать затраты на агротехнику, топливо и т.п., снизить химическую нагрузку на агроэкосистемы, а также уменьшить влияние агротехники на деградацию почвы, связанную со снижением ее пористости (Toader et al., 2020).

В Российской Федерации средние цены на пшеницу (закупочные) зернотрейдерских и перерабатывающих организаций за тонну в зависимости от класса продовольственной пшеницы составляют: 3 класс (клейковина 23-25%, ИДК 80-100) – 16000 руб. за тонну; 4 класс (клейковина 18-22%, ИДК 80-100) – 13000 руб., 5 класса (фураж, клейковина <18%, ИДК 80-100) – 10000 руб. (общероссийская еженедельная газета «Агроновости» от 16.06.2024).

При применении на сорте Сударыня штамма *Bacillus subtilis* 124-11 величина дополнительного урожая с посевной площади в 1 га составит 1,88 т. (таблица 2). Стоимость дополнительного урожая зерна пшеницы, отнесенного к 3 классу, составит 30080 руб. Тогда прибыль будет равна 12400 руб., а на каждый затраченный 1 руб. – 0,7 руб. прибыли. Применение указанного штамма на сорте Trizo позволило получить величину дополнительного урожая зерна – 2,69 т (таблица 3). При стоимостном выражении дополнительного урожая зерна пшеницы – 43040 руб. прибыль будет равна 25360 руб. т.е. на каждый затраченный 1 рубль – 1,4 руб.

Обработка посевов пшеницы сортов Сударыня и Trizo штаммом *Sphingomonas* sp. K1B. позволила получить величины дополнительного урожая зерна с посевной площади в 1 га – 0,42 т (6720 руб.) и 3,4 т (54400 руб.). В варианте, где штамм *Sphingomonas* sp. K1B. был применен на сорте

Сударыня, затраты на агротехнические мероприятия превышали стоимость дополнительного урожая, т.е. убыток составил 10960 руб. Однако при применении бактериального штамма на сорте Trizo прибыль составила 36720 руб., а на каждый затраченный 1 рубль было получено 2,08 руб. прибыли.

При применении штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на сортах Сударыня и Trizo были определены значения дополнительного урожая, а также рассчитана его стоимость с площади в 1 га: 2,28 т (36480 руб.) и 1,14 т (18240 руб.), соответственно. По вариантам опыта прибыль составила – 18800 руб. и 560 руб., на каждый затраченный 1 рубль приходилось 1,06 руб. и 0,03 руб. прибыли.

Таким образом, в среднем, по двум вышеуказанным сортам пшеницы, наиболее экономически выгодно в агротехнологиях их возделывания использовать штамм *Bacillus subtilis* 124-11. Применение данного бактериального штамма оказало существенное влияние на увеличение урожайности пшеницы по сравнению с контролем – на 80,2% (сорт Сударыня) и на 108,2% (сорт Trizo), что было связано с тенденцией роста 52,4% и 66,7% фитометрических показателей посевов. Однако следует отметить, что максимальная прибыль была получена при применении штамма *Sphingomonas* sp. K1B. в технологии возделывания сорта Trizo (на каждый затраченный 1 рубль было получено 2,08 руб. прибыли). При этом, так как штамм в наибольшей степени оказал влияние на снижение интенсивности развития особо опасных болезней пшеницы, в данном случае величину прибавки урожая следует описывать величиной сохранённого урожая, которая составила 3,4 т/га.

Таблица 2 – Экономическая эффективность агротехнологии возделывания мягкой пшеницы сорта Сударыня с применением штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
1	2	3	4
Контроль. 1 и 2 обработки – опрыскивание растений водой в фазы выхода в трубку и начала кущения, расход воды: 100 мл/м ²	2,35		

Продолжение табл. 2

1	2	3	4
<i>Bacillus subtilis</i> 124-11. 1 обработка – предпосевная инокуляция семян культуральной жидкостью (КЖ) из расчета 2 мл суспензии на 10 г семян; 2 и 3 обработки – опрыскивание растений КЖ (10^9 кл/мл) при разведение 1:100 (10^7 кл/мл) в фазу выхода в трубку и начала кущения, расход культуральной жидкости: 100 мл/м ²	4,23	1,88	80,2
<i>Sphingomonas</i> sp. K1B. 1 обработка – предпосевная инокуляция семян КЖ из расчета 2 мл суспензии на 10 г семян; 2 и 3 обработки – опрыскивание растений КЖ (10^9 кл/мл) при разведение 1:100 (10^7 кл/мл) в фазу выхода в трубку и начала кущения, расход культуральной жидкости: 100 мл/м ²	2,77	0,42	17,8
<i>Pseudomonas fluorescens</i> SPB2137. 1 обработка – предпосевная инокуляция семян культуральной жидкостью (КЖ) из расчета 2 мл суспензии на 10 г семян; 2 и 3 обработки – опрыскивание растений КЖ (10^9 кл/мл) при разведение 1:100 (10^7 кл/мл) в фазу выхода в трубку и начала кущения, расход культуральной жидкости: 100 мл/м ²	4,63	2,28	97,5

Затраты на приобретение семян мягкой пшеницы (III класс) с использованием общепринятой нормы высева 0,215 т/га – 3440 руб.;

Механизированный посев мягкой пшеницы яровой по общепринятой агротехнологии с учетом затрат на вспашку, культивацию почвы и др. – 6000 руб/га;

Получение 1 литра биомассы микроорганизмов (10^9 кл/мл) на стандартной питательной среде (без препаративной формы) – 80 руб./л;

Затраты на механизированную предпосевную инокуляция семян и двукратное опрыскивание растений лабораторными образцами – 3200 руб /га;

Затраты на приготовление культуральной жидкости штамма (10^9 кл/мл) для предпосевной инокуляции семян (43 л на 0, 215 т на 1 га – 3440 руб.

Затраты на приготовление 20 л культуральной жидкости штамма (10^7 кл/мл), необходимой для двукратного опрыскивания посевов на площади 1 га (при расходе 100 мл/м²): 1600 руб.

Таблица 3 – Экономическая эффективность агротехнологии возделывания мягкой пшеницы сорта Trizo с применением штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Прибавка	
		т/га	%
Контроль. 1 и 2 обработки – опрыскивание растений водой в фазы выхода в трубку и начала кущения, расход воды: 100 мл/м ²	2,50		
<i>Vacillus subtilis</i> 124-11. 1 обработка – предпосевная инокуляция семян культуральной жидкостью (КЖ) из расчета 2 мл суспензии на 10 г семян; 2 и 3 обработки – опрыскивание растений КЖ (10 ⁹ кл/мл) при разведении 1:100 (10 ⁷ кл/мл) в фазу выхода в трубку и начала кущения, расход культуральной жидкости: 100 мл/м ²	5,19	2,69	108,2
<i>Sphingomonas</i> sp. K1B. 1 обработка – предпосевная инокуляция семян КЖ из расчета 2 мл суспензии на 10 г семян; 2 и 3 обработки – опрыскивание растений КЖ (10 ⁹ кл/мл) при разведении 1:100 (10 ⁷ кл/мл) в фазу выхода в трубку и начала кущения, расход культуральной жидкости: 100 мл/м ²	5,90	3,4	136,3
<i>Pseudomonas fluorescens</i> SPB2137. 1 обработка – предпосевная инокуляция семян культуральной жидкостью (КЖ) из расчета 2 мл суспензии на 10 г семян; 2 и 3 обработки – опрыскивание растений КЖ (10 ⁹ кл/мл) при разведении 1:100 (10 ⁷ кл/мл) в фазу выхода в трубку и начала кущения, расход культуральной жидкости: 100 мл/м ²	3,64	1,14	46,1

Затраты на приобретение семян мягкой пшеницы (III класс) с использованием общепринятой нормы высева 0,215 т/га – 3440 руб.;

Механизированный посев мягкой пшеницы яровой по общепринятой агротехнологии с учетом затрат на вспашку, культивацию почвы и др. – 6000 руб/га;

Получение 1 литра биомассы микроорганизмов (10⁹ кл/мл) на стандартной питательной среде (без препаративной формы) – 80 руб./л

Затраты на механизированную предпосевную инокуляция семян и двукратное опрыскивание растений лабораторными образцами – от 3200 руб /га;

Затраты на приготовление культуральной жидкости штамма (10⁹ кл/мл) для предпосевной инокуляции семян (43 л на 0, 215 т на 1 га – 3440 руб.

Затраты на приготовление 20 л культуральной жидкости штамма (10⁷ кл/мл), необходимой для двукратного опрыскивания посевов на площади 1 га (при расходе 100 мл/м²): 1600 руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При инокуляции семян и двукратном опрыскивании сортов Сударыня и Trizo всеми исследованными штаммами ассоциативных ризобактерий урожайность пшеницы существенно выросла по сравнению с контролем (2,4 т/га): *Bacillus subtilis* 124-11 – на 95,2% (до 4,7 т/га); *Sphingomonas* sp. K1B – на 81,7% (до 4,4 т/га); *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 – на 71,4% (до 4,2 т/га).
2. Наиболее выраженным ростостимулирующим действием на мягкую пшеницу обладал штамм бактерии *Bacillus subtilis* 124-11. Обработка сортов Сударыня и Trizo культуральной жидкостью бактерий приводила к росту наибольшего числа фитометрических показателей пшеницы. Высокая эффективность штамма *Bacillus subtilis* 124-11 связана с широким спектром синтеза биологически активных метаболитов, со способностью бактерии формировать эндоспоры, а также снижать интенсивность развития возбудителей болезней растений.
3. Экспериментально подтверждено действие штаммов ассоциативных ризобактерий на увеличение фотосинтетических пигментов во флаговых листьях пшеницы. Наиболее выраженный рост показателей по сравнению с контролем был выявлен в следующих вариантах опыта: хлорофилл *a* («*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 21,7%, сорта Trizo и Сударыня), хлорофилл *b* («*Pseudomonas fluorescens* SPB2137» – на 62,6%, сорт Сударыня), суммарное содержание хлорофиллов *a* и *b* («*B. subtilis* 124-11» – на 11,3%, сорта Trizo и Сударыня).
4. При применении штамма *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на сортах Trizo и Сударыня выявленная тенденция роста содержания в листьях хлорофилла *a* сопровождалась существенным увеличением важнейших характеристик продуктивности пшеницы: числа зерен в колоске колоса (на 24,6%) и массы зерен в колоске колоса (на 93,2%).

5. Максимальное снижение (на 20,7%) интенсивности развития гельминтоспориозной корневой гнили пшеницы у сортов Сударыня и Trizo зарегистрировано при использовании штамма *B. subtilis* 124-11. Однако в отношении комплекса особо опасных болезней мягкой пшеницы наиболее выраженными защитными свойствами обладал штамм *Sphingomonas* sp. K1B. При его применении развитие корневой гнили снизилось на 19,1%; уменьшилось поражение растений мучнистой росой (по развитию болезни – на 5,6%, числу пятен с налетом – на 51,5%) и желтой ржавчиной (по развитию болезни – на 6,8%, числу полос с пустулами – на 34,4%, числу пустул в полосе – на 32,1%).

6. Наибольшей отзывчивостью на применение штаммов *Bacillus subtilis* 124-11 и *Sphingomonas* sp. K1B обладал сорт Trizo, характеризующийся большим вегетационным периодом (85-90 дней), чем сорт Сударыня (71-84 дней). Урожайность сорта Trizo при применении штаммов бактерий по сравнению с контролем (2,5 т/га) выросла на 108,2% (до 5,2 т/га) и 136,3% (до 5,9 т/га), соответственно. Применение данных штаммов на сорте Сударыня определяло рост урожайности пшеницы в варианте с *Bacillus subtilis* 124-11 на 80,2% (до 4,2 т/га), а в варианте с *Sphingomonas* sp. K1B – на 17,8 % (до 2,8 т/га) по сравнению с контролем (2,4 т/га). Однако штамм *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 показал большую эффективность в отношении урожайности пшеницы сорта Сударыня, которая превышала контроль на 97,5%.

7. В условиях жаркого и засушливого вегетационного периода 2021 г. наибольшее влияние на рост урожайности сортов Сударыня и Trizo (на 86,0%) оказал штамм спорообразующей бактерии «*Bacillus subtilis* 124-11», обладающей наибольшим адаптационным потенциалом к метеорологическим условиям возделывания пшеницы в отличие от других неспорообразующих бактериальных штаммов.

8. В условиях Ленинградской области наиболее экономически выгодно при возделывании сортов Сударыня и Trizo использовать штамм *Bacillus subtilis*

124-11. На каждый затраченный на агротехнологию 1 руб. можно получить прибыль от 0,7 руб. до 1,4 руб.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Данные о ростостимулирующем и защитном действии ассоциативных ризобактерий *Bacillus subtilis* 124-11, *Pseudomonas fluorescens* SPB2137, *Sphingomonas* sp. K1B, после создания препаративных форм биопрепаратов, в том числе жидких культур и их государственной регистрации, могут быть рекомендованы к использованию в сельскохозяйственном производстве. Особое внимание следует уделить штамму *Bacillus subtilis* 124-11, обладающему выраженным ростостимулирующим действием на растения и способному, благодаря наличию эндоспор, адаптироваться к экстремальным условиям среды, в том числе – к повышенной температуре и недостатку влаги.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в перечне изданий, рекомендованных ВАК РФ и индексируемых в международных базах данных

1. Колесников, Л.Е. Использование ассоциативных ризобактерий для оптимизации фитосанитарного состояния посевов зерновых культур/ Л.Е. Колесников, А.А. Белимов, Б.А. Хасан, Ю.Р. Колесникова, М.В. Киселев, Д.С. Минаков //Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 1. – С. 40-47. – DOI: 10.31857/S2500262723010088/ Kolesnikov, L.E. The optimization of grain crops' phytosanitary condition with associative rhizobacteria application / L.E. Kolesnikov, A.A. Belimov, **B.A. Hassan**, Yu.R. Kolesnikova, M.V. Kiselev, D.S. Minakov// Russian Agricultural Sciences. – 2023. – V. 49. – № 2. – P. 164-171. – DOI: 10.3103/s1068367423020088 (RSCI, Springer Nature)
2. Колесников, Л.Е. Влияние ассоциативных ризобактерий на формирование продуктивности мягкой пшеницы в условиях Ленинградской области / Л.Е. Колесников, **Б.А. Хассан**, А.А. Белимов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета». – 2024 – №3 (77). – С. 46-59
3. Kolesnikov, L.E. Application of associative rhizobacteria for increasing the soft wheat productivity and reducing the diseases harmfulness/ L.E. Kolesnikov, **B.A. Hassan**, A.A. Belimov, A.G. Orlova, D.S. Minakov, Yu.R. Kolesnikova //Indian Journal of Agricultural Research. – 2024. – V. 58. – № 1. – P. 63-69. – DOI: 10.18805/IJARE.AF-766 (Scopus)
4. Kolesnikov, L.E. The influence of agroecological factors on diseases development and wheat productivity / L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, S.P. Melnikov, E.V. Tambulatova, **B.A. Hassan**, Y.R. Kolesnikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 3. Сер. "3rd International Scientific Conference on Sustainable and Efficient Use of Energy, Water and Natural Resources" 2021. – С. 012011. – DOI: 10.1088/1755-1315/866/1/012011 (Scopus)
5. Kolesnikov, L.E. Identification of the effectiveness of associative rhizobacteria in spring wheat cultivation / L.E. Kolesnikov, A.A. Belimov, E.Y. Kudryavtseva, Y.R.

Kolesnikova, **B.A. Hassan** //Agronomy Research. – 2021. – Т. 19. – № 3. – P. 1530-1544. – DOI: 10.15159/AR.21.145 (Scopus)

6. Novikova, I.I. The Biological Efficiencies of Multifunctional Complexes Based on Bacillus subtilis Strains and Chitosan Salicylate in Wheat Cultivation/ I.I. Novikova, L.E. Kolesnikov, E.V. Popova, **B.A. Hassan**, N.S. Priyatkin, D.Yu. Radishevskiy, I.L. Krasnobaeva, L.A. Higerovich, Yu. R. Kolesnikova// Applied Biochemistry and Microbiology. – 2024. – V.60. – № 2. – P. 251–263. – DOI: 10.1134/S0003683824020133 (RSCI, Web of Science, Scopus, Springer Nature)

В других изданиях:

7. Kolesnikov, L.E. The agroecological factors influence on diseases development and wheat productivity/ L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, S.P. Melnikov, E.V. Tambulatova, **B.A. Hassan**, Yu.R. Kolesnikova //Энерго-ресурсоэффективность в интересах устойчивого развития (SEWAN – 2021) = Sustainable And Efficient Use Of Energy, Water And Natural Resources (SEWAN – 2021). III международная научная конференция SEWAN – 2021. – СПб. – 2021. – С. 158

8. Kolesnikov, L.E. Increasing Wheat Productivity and Disease Resistance through Combined Use of Polyme–r Hydrogel and Protein Hydrolysates with Varied Composition and Molecular Weight/ L.E. Kolesnikov, M.I. Kremenevskaya, M.V. Uspenskaya, B.A. Hassan, Yu.R. Kolesnikova, F. Adkhamov, V.S. Varik// Biol. Life Sci. Forum. – 2024. – 30(1). –<https://doi.org/10.3390/IOCAG2023-17334>

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапкин А.М. Зерновая масса, состав и краткая характеристика ее компонентов / А.М. Агапкин // Товаровед продовольственных товаров. –2017. – № 4. – С. 10-18.
2. Агроклиматические ресурсы Ленинградской области. – Л.: Гидрометеиздат. – 1971. – 119 с.
3. Адров, С.В. Влияние полезащитной полосы на урожайность сельскохозяйственных культур в условиях степной зоны / С.В. Адров, Н.А. Куликова, А.Е. Габидулина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2011. – № 2. – С. 57-62.
4. Алехин, В. Т., Пути оптимизации защиты зерновых культур / В. Т. Алехин // Защита и карантин растений. – 2014. – № 8. – С. 3-8.
5. Андронов, Е.Е. Анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляции вегетационных процессов/ Е.Е. Андронов, Е.А. Иванова, Е.В.Першина, О.В.Орлова, Ю.В. Круглов, А.А. Белимов, И.А.Тихонович // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. Москва. – 2015. – Вып. № 80. – С. 83-94.
6. Асатурова, А. М. Эффективность новых бактериальных биопрепаратов для защиты и повышения урожайности озимой пшеницы/ А.М. Асатурова, Н.С. Томашевич, Н.А. Жевнова, А.Е. Козицын //Биологическая защита растений-основа стабилизации агроэкосистем. – 2016. – С. 530-532.
7. Беляев, В.И. Урожайность яровой мягкой пшеницы в зависимости от сорта и дозы внесения удобрений / В.И. Беляев, Л.В. Соколова Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2012. – № 12(98) – С. 21-24.
8. Бизюкова, О. В. Обзор мирового рынка микробиопрепаратов / О. В. Бизюкова //Защита и карантин растений. – 2012. – № 3. – С. 9-12.
9. Борисова, Е. Е. Оптимизация набора эффективных предшественников и их последствие на урожайность яровой пшеницы на светло-серых лесных

- почвах Волго-Вятского региона/ Е. Е. Борисова // Автореферат к. с.-х. н. – Москва. Балашиха. – 2012. – 22с
10. Валге А.М. Обработка данных в Excel на примерах / А.М. Валге. Методическое пособие. – СПб.: ГНУ СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 2010. – 100 с
11. Варгин, В. Н. Малые, ручной обработки, опытно-показательные участки / В. Н. Варгин. - // РСФСР. - Пермь : Изд-во Перм. Губ. Бюро Агропропаганды, 1922. – 26 с.
12. Варгин, В. Н. По вопросу о выработке плана улучшенного полевого хозяйства для хуторов/ В. Н. Варгина// Доклад губернского агронома. - Пермь : Электро-типогр. Губ. Земства – 1911. – 21 с.
13. Векленко, В. И. Эколого-экономическая оценка различных технологий возделывания яровой пшеницы в Курской области / В. И. Векленко, Р. А. Айдиев //Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2007. – № 9. – С. 39-40.
14. Воеводина Л.А. Обзор новых направлений исследований по использованию микроорганизмов для повышения биопродуктивности засоленных земель / Л.А. Воеводина //Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. - № 4. – С. 154-169.
15. Гаркуша, А. А. Влияние средств интенсификации на урожайность яровой пшеницы в зависимости от предшественника и основной обработки почвы / А. А. Гаркуша, С. В. Усенко //Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 6. – С. 27-29.
16. Гешеле, Э.Э. Основы фитопатологической оценки в селекции растений/ Э.Э. Гешеле. – М. – 1978. – 203 с.
17. Глинушкин, А. П. Пшеница и хлеб: агроэкологическая и технологическая эффективность защиты яровой пшеницы в условиях степной зоны Южного Урала/ А. П. Глинушкин. – Саратов: ИЦ "Наука", 2009. – 194 с.
18. Горпинченко, К. Н. Оценка эффективности применения перспективных технологий выращивания зерна озимой пшеницы /К. Н. Горпинченко //

Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета.– 2007. – № 34. – С. 102-108.

19. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2023 г. – М., 2024. – С. 169. – . URL [https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Doc_Nation_report_2023\(1\).pdf](https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Doc_Nation_report_2023(1).pdf)

20. Градчанинова, О.Д. Изучение коллекции пшеницы / О.Д. Градчанинова, А.А. Филатенко и др. Методические указания. – Л.: ВИР. – 1985. – 26 с.

21. Грехова, И. В. Реакция яровой пшеницы на применение регуляторов и микроудобрения при протравливании семян/ И. В. Грехова, Н. В. Матвеева //Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 1. – С. 6.

22. Гришечкина, Л. Д. Долженко В. И. Микробиологические препараты для защиты пшеницы от возбудителей грибных болезней /Л. Д. Гришечкина, В. И. Долженко //Агрохимия. – 2017. – № 6. – С. 81-91.

23. Денисов, Е. П. Многолетние травы как предшественники и фитомелиоранты зерновых культур / Е. П. Денисов, К. Е. Денисов, Н. П. Молчанова, Е. В. Дудина, Л. Ю. Волкова //Вавиловские чтения. – 2014. – С. 184-186.

24. Доронин, В. Г. Как повысить урожайность яровой пшеницы/ В. Г. Доронин, С. В. Кривошеева //Защита и карантин растений. – 2007. – № 10. – С.22.

25. Доронин, В. Г. Препараты для защиты яровой мягкой пшеницы от листостебельных болезней /В. Г. Доронин, С. В. Кривошеева //Земледелие. – 2010. – № 1. – С. 46-48.

26. Дорофеев В.Ф. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы / В.Ф. Дорофеев, М.И. Руденко, И.П. Шитова, В.А. Корнейчук // Ленинград: ВИР. – 1977. – 27 с.

27. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / Б.А. Доспехов // М.: Медиа. – 2024. – 349 с.

28. Дридигер, В. К. Влияние растительных остатков озимой пшеницы на прорастание семян озимого рапса / В. К. Дридигер, Е. Л. Попова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 4. – С. 10-14.
29. Ермаков, А.И. Методы биохимического исследования растений/ А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош. Л.: Агропромиздат. 1987. – 429 с.
30. Завалин, А.А. Биологизация минеральных удобрений как способ повышения эффективности их использования/ А. А. Завалин, В. К. Чеботарь, А. Г. Ариткин, Д. Б. Сметов // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 9. – С. 45-47.
31. Завалин, А.А. Биопрепараты, удобрения, урожай/ А.А. Завалин. – Москва, 2005. – С. 7-12.
32. Захарова, Н.Н. Посевные качества и полевая всхожесть семян яровой мягкой пшеницы / Н.Н. Захарова, Н.Г.Захаров // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4 (36). – С. 17-23.
33. Зеленев, А. В. Плодородие светло-каштановых почв и продуктивность биологизированных севооборотов Нижнего Поволжья / А. В. Зеленев, Р. Х. Уришев, Е. В. Семинченко // Вестник Прикаспия. – 2016. – № 2. – С. 32.
34. Земельные ресурсы. Топ стран по земельным ресурсам: рейтинги 2023 года. Электронный ресурс: <https://lindeal.com/rating/top-stran-po-zemelnyim-resursam-rejtingi-2023-goda> (дата обращения 15.12.2024).
35. Зинченко, С.И. Особенности формирования корневой системы зерновых культур в агроэкосистемах серой лесной почвы / С.И. Зинченко, Д.А. Рябов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8 (часть 3) – С. 651-656
36. Иванов, А. Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России / А. Л. Иванов // Земледелие. – 2009. – № 1. – С.3-5.
37. Иванова, Н. А. Влияние водного режима почв на продуктивность сельскохозяйственных культур / Н. А. Иванова, И. В. Гурина, С. Ф. Шемет

//Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2014. – № 4. – С. 124-135.

38. Иванов, Л.А. Изменение содержания хлорофиллов и каротиноидов в листьях степных растений вдоль широтного градиента на Южном Урале / Л.А. Иванов, Л.А. Иванова, Д.А. Ронжина, П.К. Юдина // Физиология растений. – 2013. – № 6. – С. 856–864.

39. Кадиков Р. К. Сортовые ресурсы для повышения производства зерна твёрдой пшеницы в Республике Башкортостан / Р. К. Кадиков, А. А. Нигматьянов, А. Р. Хабибуллин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (52). – С. 29-31.

40. Казарова, Т. М. Влияние инокуляции семян ризоценозными ассоциациями на урожай и качество зерна яровой пшеницы на почве с повышенным содержанием кадмия / Т. М. Казарова, Н. К. Сидоренкова, В. Ф. Волобуева, В. К. Шильникова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 4. – С. 109-115.

41. Каргин, В. И. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на урожайность зерна озимой пшеницы и озимой ржи в лесостепи Среднего Поволжья / В.И. Каргин, А.А. Ерофеев, А. Г. Макаренко, И. А. Латышова, Н. А. Перов // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 1. – С.9-11.

42. Каргин, В. И. Влияние минеральных удобрений и биопрепаратов на использование влаги посевами озимой пшеницы / В.И. Каргин, А.А. Ерофеев, И.А. Латышова, Р. А. Захаркина, Н.А. Перов // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 11. – С. 14-16.

43. Киприанова, Е.А. Антифунгальные и противовирусные вещества штаммов *Pseudomonas chlororaphis subsp. aureofaciens* – компонентов гаупсина / Е.А. Киприанова, В.В. Шепелевич, В.В. Ключко, А.Н. Остапчук, Л.Д. Варбанец, Л.Б. Скоклюк, А.Е. Березкина, Л.В. Авдеева // Мікробіологічний журнал. – 2013. – Т. 75. – № 6. – С. 28-35.

44. Ключко, В. В. Біосинтез антибіотиків як таксономічний маркер деяких видів *Pseudomonas* / В. В. Ключко // Research Bulletin of the National Technical

- University of Ukraine" Kyiv Politechnic Institute". – 2017 Jun 23. – № 3. – С. 29-33.
45. Коваленков, В. Г. Биометод находит поддержку / В. Г. Коваленков, В. А. Сугак, Н. М. Тюрина, Н. В. Лаптева // Защита и карантин растений. – 2008. – № 11. – С.14-7.
46. Колесников Л.Е., Успенская М.В., Кременевская М.И., Орлова А.Г., Зуев Е.В., Колесникова Ю.Р. Повышение урожайности зерновых культур и снижение вредоносности возбудителей болезней при использовании акрилового гидрогеля и белкового стимулятора роста/ Л.Е. Колесников, М.В. Успенская, М.И. Кременевская, А.Г. Орлова, Е.В. Зуев, Ю.Р.Колесникова // Российская сельскохозяйственная наука. – 2021. – № 3. – С. 33-40.
47. Колесников, Л.Е. Использование ассоциативных ризобактерий для оптимизации фитосанитарного состояния посевов зерновых культур/ Л.Е. Колесников, А.А. Белимов, Б.А. Хасан, Ю.Р. Колесникова, М.В. Киселев, Д.С. Минаков // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 1. – С. 40-47.
48. Колесников, Л.Е. Агроэкологическое варьирование продуктивности и поражаемости пшеницы болезнями: элементы и моделирование/ Л.Е. Колесников, В.А. Павлюшин, М.В. Архипов, Н.С. Прияткин, Ю.Р. Колесникова // Агрофизика. – 2022. – № 3. – С. 40-52.
49. Коломбет, Л. В. Грибы рода *Trichoderma*–продуценты биопрепаратов для растениеводства / Л.В. Коломбет //Успехи медицинской микологии. – М. – 2007. – Т. 1. – С. 323-371.
50. Коробов, В. А. Эффективность препаратов на основе бактерий Р. *Bacillus* в борьбе с корневыми гнилями яровой пшеницы / В. А. Коробов, А. И. Леляк, А. А. Леляк //Защита и карантин растений. – 2014. – № 11. – С. 31-32.
51. Коробов, В. А. Эффективность штаммов бацилл в отношении корневых гнилей яровой пшеницы / В.А. Коробов, А.И. Леляк, А.А. Леляк, Е.В. Новикова, Т.У. Муртазин //Вестник защиты растений. – 2015. – Т. 83. – №. 1. – С. 42-44.

52. Коробова, А.В. Влияние неравномерного распределения макроэлементов на содержание гормонов и удлинение корней у растений пшеницы / А.В. Коробова, И.И. Иванов, Г.Р. Ахиярова, С.Ю. Веселов, Д.С. Веселова, Г.Р. Кудоярова // Физиология растений. – 2019. – Т. 66. – № 5. – С. 367–374
53. Коршунова Т.Ю., Бакаева М.Д., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Четвериков С.П., Четверикова Д.В., Логинов Р.Н. Роль бактерий рода *Pseudomonas* в устойчивом развитии агросистем и защите окружающей среды (обзор)// Прикладная биохимия и микробиология. – 2021. – Т. 57. – № 3. – С. 211–227. DOI: 10.31857/S0555109921030089
54. Корягин, Ю. В. Влияние применения биопрепаратов и микроэлементов на посевные качества семян яровой пшеницы / Ю.В.Корягин//Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 10. – С. 29-30.
55. Кравченко, Э. В. О состоянии и использовании земельных ресурсов Краснодарского края / Э.В. Кравченко, И.В. Будагов, Е.Бондаренко //Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 4. – С. 60-65.
56. Кравченко, Л. В. Корневые выделения томатов и их влияние на рост и антифунгальную активность штаммов *Pseudomonas* / Л. В. Кравченко, Т. С. Азарова, Е. И.Леонова-Ерко, А. И. Шапошников, Н. М. Макарова, И. А. Тихонович // Микробиология. – 2003. – Т.72. – №1. – С. 48-53.
57. Кузина, Е. В. Влияние биопрепаратов на продуктивность и качество зерна озимой пшеницы / Е. В. Кузина, Т. Н. Леонтьева, О. Н. Логинов //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15. – № 3-5.
58. Кулаичев, А.П. Методы и средства комплексного анализа данных/ А.П. Кулаичев // Учеб. пособие для вузов по дисциплинам "Прикладная статистика" и "Информатика". Сер. Классическое университетское образование. Информационные технологии. – М.: изд. «Форум», 2006. – 511 с.
59. Курдюков, Ю. Ф. Зависимость урожая яровой пшеницы от вида севооборота и метеорологических условий/ Ю. Ф. Курдюков, Левицкая, , Н. Г.

- Лощина, Г. В. Шубитидзе, М. Ю. Васильева // Земледелие. – 2014. – № 1. – С.41-43.
60. Кутлубердина, Д.Р. Испытание эндофитного штамма *Bacillus subtilis* 11 РН против фузариоза колоса яровой пшеницы/ Д.Р. Кутлубердина, Р.М. Хайруллин // Теоретическая и прикладная экология. – 2010. – № 2. – С.58-64
61. Лабынцев, А. В. Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы и кукурузы на зерно при различных уровнях интенсивности технологий / А. В. Лабынцев, В. В. Губарева // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2012. – № 4. – С. 46-55.
62. Лактионов, Ю.В. Создание новых форм биопрепаратов на основе клубеньковых и ассоциативных ризобактерии и оценка их эффективности/ Ю.В Лактионов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности: 03.02.03 — микробиология. СПб.- 2010. – 18 с.
63. Лапина, В. В. Роль предшественников в снижении поражаемости яровой пшеницы корневыми гнилями/ В.В. Лапина, Н.В. Смолин, Н.С. Жемчужина //Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 1 (21). – С. 29-33.
64. Леонтьева, Е. Е. Практическая сельскохозяйственная метеорология в Нижнем Поволжье/ Е. Е. Леонтьева, В. И. Балакшина, О. В. Талтынова - //Научно-агрономический журнал. – 2017. – № 1 (100). – С. 49-53.
65. Леонтьевская, Е. А. Структура эпифитно-сапротрофных бактериальных комплексов зерновых и овощных культур/ Е.А. Леонтьевская. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности: 03.02.03 - Микробиология. – М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова. – 2014. – 28 с
66. Линков, С. А. Влияние сидеральных культур и способов их заделки на микробиологическую активность почвы и урожайность подсолнечника и кукурузы на зерно/ С. А. Линков //Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 9. – С. 36-37.

67. Лукьянцев, М. А. Особенности биологической активности эндофитных штаммов *Bacillus subtilis* Cohn. с различной степенью антагонизма к фитопатогенным грибам / М. А. Лукьянцев. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.03 – Микробиология. Саратов: Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова. – Саратов, 2010. – 21 с
68. Лысоченко А.А. Условия обеспечения и оценка угроз продовольственной безопасности регионов России/ А.А. Лысоченко //Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2009. – №. 3 (36).- С.38-42.
69. Мамеев, В. В. Оценка урожайности, адаптивности, экологической стабильности и пластичности сортов озимой пшеницы в условиях Брянской области/ В. В. Мамеев, В. М. Никифоров //Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – №. 7. – С. 125-129.
70. Маринкина, Г.А. Влияние удобрений и гербицидов на накопление хлорофилла, продуктивность фотосинтеза и урожай пшеницы / Г.А. Маринкина, Е.И. Маркс // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2014. – №3. – 37-41.
71. Матюк, Н. С. Экологическое земледелие с основами почвоведения и агрохимии / Н. С. Матюк, М. А. Мазиров, А. И. Беленков, В. Д. Полин, А.Я. Рассадин, Е. Д. Абрашкина. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. –2011. – 189 с.
72. Машков, С. В. Эффективность сельскохозяйственного производства и факторы его повышения / С. В. Машков //Экономика, организация, статистика и экономический анализ. – 1994. – № 2. – С. 17-23.
73. Мельник, А. Ф. Формирование урожайности и качества зерна озимой пшеницы / А. Ф. Мельник, А. Ф. Мартынов //Вестник аграрной науки. – 2012. – Т. 35. – № 2. – С. 23-27.
74. Мережко, А.Ф. Методические указания по изучению мировой коллекции пшеницы, гилопса и тритикале / А.Ф. Мережко, Р.А. Удачин, В.Е. Зуев. – СПб.: ВИР им. Н.И. Вавилова, 1997. – С. 59.

75. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 2. М., 1989. - 194 с.
76. Михин, Д. В. Эколого-мелиоративные особенности ползащитных насаждений Воронежской области/ Д. В. Михин //Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №. 6. – С. 968-968.
77. Наследов, А. IBM SPSS Statistics 20 и AMOS: профессиональный статистический анализ данных / А. Наследов. – СПб.: Питер. – 2013. – 416 с.
78. Нигматьянов, А. А. Сортовая отзывчивость яровой пшеницы на биопрепараты при обработке семян / А. А. Нигматьянов, Р. К. Кадиков, Р. Р. Мигранов //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (52). – С. 31-33.
79. Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений: Монография / В.С. Николаевский // Новосибирск: Наука, 1979. – 28 с.
80. Новиков, А. А. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах/ А. А. Новиков, О. П. Кисаров //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 78. – С. 643-652.
81. Новикова, И. И. Биологическое обоснование создания и применения полифункциональных биопрепаратов на основе микробов-антагонистов для фитосанитарной оптимизации агроэкосистем/И.И. Новикова. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук по специальности 06.01.11 – Защита растений. – 2005. – СПб.: ВИЗР. – 44 с.
82. Общероссийская еженедельная газета «Агроновости» от 16.06.2024. Аналитические обзоры рынков. Мониторинг цен на пшеницу. URL: <https://agro-bursa.ru/prices/wheat/16-06-2024/>
83. Орлов, А. Н. Основные приемы повышения эффективности возделывания озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья / А. Н. Орлов, О. А. Ткачук //Нива Поволжья. – 2011. – № 2. – С. 39-45.
84. Павлюшин, В. А. Перспективы и возможности микробиологической защиты растений для повышения уровня экологической безопасности в

- агроценозах (обзор)/ В.А. Павлюшин, И.И. Новикова, И. В. Бойкова - //Защита и карантин растений. – 2022. –№ 4. – С. 10-18.
85. Парахин, Н. В. Защита растений в повышении урожайности и качества зерна /Н. В. Парахин, Н. Н. Лысенко //Вестник аграрной науки. – 2012. – Т. 39. – № 6. – С. 10-18.
86. Петенко, А. И. Повышение эффективности получения биопрепарата на основе оптимизации некоторых условий культивирования *Pseudomonas* sp114 / А. И. Петенко, А. Н. Гнеуш, В. И. Дмитриев //Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №. 100. – С. 317-339.
87. Подгорбунских, П. Е. Аграрное производство и сельские территории: единая система/ П. Е. Подгорбунских //Вестник Курганской ГСХА. – 1913. – № 2. – С. 4-9.
88. Попов, Ю.В. Метод оценки развития корневых гнилей зерновых культур/ Ю. В. Попов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 8. – С.45-47.
89. Прянишников, Д.Н. Ближайшие задачи в области производства минеральных удобрений / Д. Н. Прянишников //Избранные труды. М.: Наука. – 1976. – 591 с.
90. Прянишников, Д. Н. Севооборот и его значение в деле поднятия наших урожаев (из лекции по курсу" Введение в агрономию", читанных в 1943/44 учебном году) / Д. Н. Прянишников. М.: Моск. с.-х. академия имени К.А. Тимирязева. – 1945. – 33с.
91. Пухаев, А.Р. Эффективность новых штаммов ассоциативных ризобактерий на посевах озимой пшеницы / А. Р. Пухаев, А. Т. Фарниев, А. П. Кожемяков //Земледелие. – 2009. – № 8. – С. 40-41.
92. Розов, С. М. Ауксин: регуляция и возможные пути ее модуляции / С. М. Розов, А.А. Загорская, Е.В. Дейнеко, В.К. Шумный //Успехи современной биологии. – 2013. – Т. 133. – № 2. – С. 115-123.

93. Рыжов, И. А. Значение технологии возделывания сельскохозяйственных культур в повышении эффективности растениеводства/ И. А. Рыжов //Биология в сельском хозяйстве. – 2016. – № 3. – С. 14-17.
94. Сабитов, М. М. Эффективность технологий возделывания озимой пшеницы при различных уровнях интенсификации / М. М. Сабитов //Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2016. – № 1 (50). – С. 41-46.
95. Салтыкова, О. Л. Влияние предшественников, обработки почвы и удобрений на урожайность и биохимические показатели качества зерна озимой и яровой пшеницы в лесостепи Заволжья/ О. Л. Салтыкова // Научная перспектива. – 2010. – № (3-4) – С. 121-123.
96. Самохин, Л. В. Влияние стрессовых факторов на взаимодействие ассоциативных ризобактерий и растений. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биол. наук по специальности: 03.02.03 Микробиология. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2011. – 22с.
97. Санин С.С. Проблемы фитосанитарии России на современном этапе // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии / С.С. Санин – 2016. – № 6. – С. 45-55.
98. Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата /Г.Т. Селянинов // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. - 1928. - Вып. 20. - С. 165-177.
99. Сидоров, А.В. Новые сорта яровой пшеницы для использования на кормовые цели / А.В. Сидоров, Н.А. Нешумаева, Л.В. Плеханова // Кормопроизводство. – 2019. – № 5. – С. 37-41.
100. Сеницына, С.М. Потенциал производства продукции растениеводства в Северо-Западном федеральном округе / С.М. Сеницына, М.В. Архипов, Т.А. Данилова // Известия ТСХА. – 2017. – № 4. – С.114-136
101. Сираева, З. Ю. Биопрепарат для стимуляции роста и защиты растений от болезней на основе *Bacillus amyloliquefaciens* ВКПМ В-11008. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук по

специальности: 03.02.03 Микробиология / З. Ю. Сираева // Казань. – 2012. – 24 с.

102. Сиунова, Т. В. Штаммы PGPR *Pseudomonas*, перспективные для создания биопрепаратов для защиты и стимуляции роста растений/ Т. В. Сиунова, Т. О. Анохина, О. И. Сизова, С. Л. Соколов, О. И. Сазонова, В. В. Кочетков, А. М. Боронин, S. G. Patil, A. V. Chaudhari //Биотехнология. – 2017. – Т. 33. – № 2. – С. 56-67.

103. Смирнов, В. В. Бактерии рода *Pseudomonas*/ В.В. Смирнов, Е.А. Киприанова. – Киев: Наукова думка. – 1990. – 264 с.

104. Стамо, П. Д. Применение фунгицидов должно быть рациональным/ П. Д. Стамо, О. В. Кузнецова //Защита и карантин растений. – 2012. – № 2. – С. 5-8.

105. Сыздыкова, Г.Т. Подбор сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по адаптивности к условиям Степной зоны Акмолинской области Казахстана / Г.Т. Сыздыкова, С.Г. Середа, Н.В. Малицка // Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53. – №1. – С. 103-110

106. Тайметов, М. Э. Фитосанитарная обстановка зерновых агроэкосистем /Тайметов М. Э. //Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». – 2016. – № 7. – С. 50-54.

107. Титова, Л. Комплексные биопрепараты для повышения продуктивности пшеницы и их влияние на ризосферные микроорганизмы/ Л. Титова, А. Антипчук // Știința Agricolă. – 2009. – № 2. – С. 12-18.

108. Томашевич, Н.С. Изучение метаболитов новых перспективных штаммов бактерий-антагонистов рода *Bacillus* для повышения эффективности биопрепаратов фунгицидного действия на их основе/ Н.С. Томашевич, Т.М. Сидорова, В.В. Аллахвердян, А.М. Асатурова // Юг России: экология, развитие. – 2023. – Т.18. № 2. – С. 70-81. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-70-

109. Трухачев, В. И. Природные факторы в прогнозировании экономических показателей зернового хозяйства / В. И. Трухачев, Е. Г. Никитенко //Вестник АПК Ставрополья. – 2011. – №. 3. – С. 46-49.
110. Усенко, В. И. Эффективность применения минеральных удобрений под яровую пшеницу в зависимости от предшественника, обработки почвы и средств защиты растений в лесостепи Алтайского Приобья/ В. И. Усенко, С. В. Усенко //Земледелие. – 2016. – № 8. – С. 4-8.
111. Фрейдкин, И. А. Агроэкологическая оценка эффективности применения нового органо-минерального удобрения в условиях Северо-Запада РФ/ И.А. Фрейдкин. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности: 06.01.03 – Агрофизика. – СПб., 2017. – 20 с.
112. Хамова, О. Ф. Влияние бактериальных препаратов на биологическую активность чернозема выщелоченного и урожайность зерновых культур / О. Ф. Хамова, Е. Н. Ледовский, Е. В. Тукмачева, Н. Н. Шулико //Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. –Т. 3 – № 23. – С44-48.
113. Харитоновна, С. В. Эффективность некорневого внесения регуляторов роста и Гуми-30 на посевах яровой пшеницы / С. В. Харитоновна //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2012. – Т. 2. – № 34-1. – С. 19-21.
114. Хисамов, Р.Р. Способы инактивации экологической депрессии у растений / Р. Р. Хисамов //Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № (12-1). – С. 37-40.
115. Хисамов, Р. Р. Экологические проблемы сохранения плодородия черноземов и биоразнообразия на полях с защитными лесонасаждениями/ Р. Р. Хисамов, А. А. Кулагин// Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 6. – С.639-641.
116. Хузина Э. Р. Оптимизация применения бактериальных удобрений на яровой пшенице/ Э.Р. Хузина, И.Х. Габдрахманов //Агрехимический вестник. – 2009. – № 5. – С.16-17

117. Чеботарь, В. К. Антифунгальные и фитостимулирующие свойства ризосферного штамма *Bacillus subtilis* Ч-13 продуцента биопрепаратов/ В.К. Чеботарь, Н.М. Макарова, А.И., Шапошников, Л.В. Кравченко - //Прикладная биохимия и микробиология. – 2009. – Т. 45. – № 4. – С. 465-469.
118. Чеботарь, В. К. Микробные препараты на основе эндофитных и ризобактерий, которые перспективны для повышения продуктивности и эффективности использования минеральных удобрений у ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) и овощных культур/ В. К. Чеботарь, А. Н. Заплаткин, А. В. Щербаков, Н. В. Мальфанова, А. А. Старцева, Я. В. Костин Я.В. // Сельскохозяйственная биология. – 2016– Т.51.– № 3. – С. 335-342.
119. Черкасов, Г. Н. Совершенствование севооборотов и структуры посевных площадей для хозяйств различной специализации Центрального Черноземья / Г. Н. Черкасов, А.С. Акименко //Земледелие. – 2016. – № 5. – С. 8-11.
120. Черпак, В. Ф. Технологические приемы повышения качества семян и урожайности зерновых культур в Приамурье / В. Ф. Черпак, В. Н. Макаров, И. М. Шиндин //Региональные проблемы. – 2010. – Т. 13. – № 2. – С. 105-108.
121. Шабаев, А. И. Ресурсосберегающие технологии возделывания озимой пшеницы в агроландшафтах Поволжья / А. И. Шабаев //Земледелие. – 2009. – №. 4. – С. 13-15.
122. Шапошников, А.И. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов (обзор) / А.И. Шапошников, А.А. Белимов, Л.В. Кравченко, Д.М. Виванко // Сельскохозяйственная биология. – 2011. – Т. 46. – № 3. – С. 16-22.
123. Шапошников, А. И. Взаимосвязь состава корневых экссудатов и эффективности взаимодействия растений пшеницы с микроорганизмами/ А. И. Шапошников, А. А. Белимов, Т. С. Азарова, О. К. Струнникова, Н. А. Вишневецкая, Н. И. Воробьев, О. С. Юзихин, Л. А. Беспалова, И. А. Тихонович //Прикладная биохимия и микробиология. – 2023. – Т. 59. – № 3. – С. 260-274.
124. Шапошников, А. И. Сравнительные характеристики корневых систем и корневой экссудации у синтетического, примитивного и современного сортов

- пшеницы/ А. И. Шапошников, А. И. Моргун, Б. Акин, Н. М. Макарова, А. А. Белимов, И. А. Тихонович // Сельскохозяйственная биология.– 2016. – Т.51. – № 1. – С. 68-78.
125. Шапошников, А. И. Влияние ризобактерий *Pseudomonas fluorescens* SPB2137 на алюмоустойчивость растений пшеницы / А. И. Шапошников, Н. М. Макарова, М. Е. Баганова, Т. С. Азарова, Я. В. Пухальский //Национальная Ассоциация Ученых. – 2015. – Т. 9. – № (4-6). – С. 133-136.
126. Шарый, П. А. Методология анализа пространственной изменчивости характеристик урожайности пшеницы в зависимости от условий агроландшафта / П. А. Шарый, О. В. Рухович, Л. С. Шарая //Агрохимия. – 2011. – № 2. – С. 57-81.
127. Юшкевич, Л. В. Особенности формирования урожайности зерна яровой пшеницы в южной лесостепи Омской области / Л. В. Юшкевич, А. В. Ломановский, В. М. Жиленко //Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2015. – Т.3.– №19. – С. 3-7.
128. Aboukhaddour, R. Wheat diseases on the prairies: a Canadian story/ R. Aboukhaddour, T. Fetch, B. D. McCallum, M.W. Harding, B. L. Beres, R. J. Graf [et al.] // Plant Pathology. – 2020. –V. 69. – P. 418-432.
129. Ali, S. Z. Effect of inoculation with a thermotolerant plant growth promoting *Pseudomonas putida* strain AKMP7 on growth of wheat (*Triticum* spp.) under heat stress / S. Z. Ali, S. Vardharajula, G. Minakshi, R. L. Venkateswar and B. Venkateswarlu [et al.] // Journal of plant interactions. – 2011. – V.6. – №.4. –P. 239-246.
130. Alipoor, B.N. Relationship between drought stress and some antioxidant enzymes with cell membrane and chlorophyll stability in wheat lines/ B.N. Alipoor, F. Moradi // Afr. J. Microbiol. Res. – 2012. – V. 6. – P. 617-23.
131. Asaf, S. Osmoprotective functions conferred to soybean plants via inoculation with *Sphingomonas* sp. LK11 and exogenous trehalose/ S. Asaf, A. L. Khan, M. A. Khan, Q. M. Imran, B. W. Yun, I. J. Lee [et al.] // Microbiological research. – 2017. – №. 205. – P. 135-145.

132. Asaf, S. Bacterial endophytes from arid land plants regulate endogenous hormone content and promote growth in crop plants: an example of *Sphingomonas* sp. and *Serratia marcescens*/ S. Asaf, M. A. Khan, A. L. Khan, M. Waqas, R. Shahzad, A. Y. Kim, S. M. Kang, I. J. Lee [et al.] // Journal of Plant Interactions. – 2017. – V. 12. – №. 1. – P. 31-38.
133. Basu, A. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects/ A. Basu, P. Prasad, S. Das, S. Kalam, R. Sayyed, M. Reddy, H. El Enshasy [et al.] // Sustainability. – 2021. – V.13. – P. 1140.
134. Belimov, A. A. Abscisic acid metabolizing rhizobacteria decrease ABA concentrations in planta and alter plant growth A.A. Belimov, I.C. Dodd, V.I. Safronova, V.A. Dumova, A.I. Shaposhnikov, A.G. Ladatko, W.J. Davies [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2014. – V.74. – p. 84–91.
135. Bull, C. T. Relationship between root colonization and suppression of *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* by *Pseudomonas fluorescens* strain 2-79/ C. T. Bull, D. M. Weller, L. S. Thomashow [et al.] //Phytopathology. – 1991. – V. 81. – №. 9. – P. 954-959.
136. Carmona-Hernandez, S. Biocontrol of Postharvest Fruit Fungal Diseases by Bacterial Antagonists: A Review / S. Carmona-Hernandez, J.J. Reyes-Prez, R.G. Chiquito-Contreras, G. Rincon-Enriquez, C.R. Cerdan-Cabrera, L.G. Hernandez-Montiel[et al.] // Agronomy. – 2019. – V. 9. –№.3.– P. 121.
137. Castillo, P. Phytohormones and other plant growth regulators produced by PGPR: The Genus *Azospirillum*. In Handbook for *Azospirillum* / P. Castillo, R. Molina, A. Andrade, A. Vigliocco, S. Alemano, F. D. Cassán[et al.] // Springer, Cham. – 2015. – P. 115-138.
138. Cho, S. J. Detection and characterization of the *Gloeosporium gloeosporioides* growth inhibitory compound iturin A from *Bacillus subtilis* strain KS03/ S. J. Cho, S. K. Lee, B. J. Cha, Y. H. Kim, K. S. Shin[et al.] //FEMS Microbiology Letters. – 2003. – V. 223. – №. 1. – P. 47-51.

139. Çiğ, F. Determination of the effect of plant growth promoting bacteria on wheat (*Triticum aestivum* L.) development under salinity stress conditions / F. Çiğ // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2019. – V. 17. – P. 1129-1141. https://doi.org/10.15666/aeer/1701_11291141.
140. De Meyer, G. Nanogram amounts of salicylic acid produced by the rhizobacterium *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2 activate the systemic acquired resistance pathway in bean / G. De Meyer, K. Capieau, K. Audenaert, A. Buchala, J. P. Metraux, J. M. Hofte [et al.] // *Molecular Plant-Microbe Interactions*. – 1999. – V. 12. – P. 450–458.
141. Draou, N. Effect of endophytic bacteria from Algerian prickly pear roots on wheat under drought stress // *Journal of Applied and Natural Science*/ N. Draou, S. Gharbi, N. Selami, H. Bokhari, H. Kebaili. – 2022. – V. 14(2). – P. 418 - 425. <https://doi.org/10.31018/jans.v14i2.3422>
142. Çiğ, F. Determination of the effect of plant growth promoting bacteria on wheat (*Triticum aestivum* L.) development under salinity stress conditions / F. Çiğ // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2019. – 17. 1129-1141. https://doi.org/10.15666/aeer/1701_11291141.
143. Eshita, S. M. Bacillomycin Lc, a new antibiotic of the iturin group: isolations, structures, and antifungal activities of the congeners/ S. M. Eshita, N. H. Roberto, J. M. Beale, B. M. Mamiya, R. F. Workman [et al.] // *The Journal of antibiotics*. – 1995. – V. 48. – №. 11. – P. 1240-1247.
144. Figueroa, M. A review of wheat diseases-a field perspective/ M. Figueroa, K. E. Hammond-Kosack, P. S. Solomon[et al.] // *Molecular plant pathology*. –2018. – V. 19 – №. 6. – P. 1523-1536.
145. Forchetti, G. Endophytic bacteria in sunflower (*Helianthus annuus* L.): isolation, characterization, and production of jasmonates and abscisic acid in culture medium/ G. Forchetti, O. Masciarelli, S. Alemano, D. Alvarez, G. Abdala [et al.] // *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2007. –V. 76. –P. 1145-1152.
146. Gaju, O. Nitrogen partitioning and remobilization in relation to leaf senescence, grain yield and grain nitrogen concentration in wheat cultivars/ O. Gaju, V. Allard,

- P. Martre, J. Le Gouis, D. Moreau, M. Bogard, S. Hubbart, M. J. Foulkes [et al.] // *Field Crops Res.* –2014. –V. 155 –P. 213-223.
147. Großkinsky, D. K. Cytokinin production by *Pseudomonas fluorescens* G20-18 determines biocontrol activity against *Pseudomonas syringae* in *Arabidopsis*/ D. K. Großkinsky, R. Tafner, M. V. Moreno, S. A. Stenglein, I. E. García de Salamone, L. M. Nelson, O. Novák, M. Strnad, E. Van der Graaff, T. Roitsch [et al.] // *Scientific Reports.* – 2016. – V. 6. – №. 1. – P. 23310.
148. Hu, H. Isolation and characterization of a new fluorescent *Pseudomonas* strain that produces both phenazine 1-carboxylic acid and pyoluteorin / H. Hu, Y. Xu, F. Chen, X.H. Zhang, B.K. Hu // *Journal of microbiology and biotechnology.* – 2005. – 15(1). – P. 86-90.
149. Jevtić, R. Predicting potential winter wheat yield losses caused by multiple disease systems and climatic conditions/ R. Jevtić, V. Župunski, M. Lalošević, L. Župunski[et al.] // *Crop Protection.* –2017.– V. 99 –P. 17-25.
150. Jnawali, A. D. Role of *Azotobacter* in soil fertility and sustainability—A Review/ A. D. Jnawali, R. B. Ojha, S. Marahatta[et al.] // *Adv. Plants Agric. Res.* – 2015. – V. 2. – №. 6. – P.1-5.
151. Karadeniz, A. Auxin, gibberellin, cytokinin and abscisic acid production in some bacteria/ A. Karadeniz, S. F. Topcuoglu, S. Inan[et al.] // *World Journal of Microbiology & Biotechnology.* – 2006. – V. 22. – P. 1061–1064.
152. Khan, A. L. Bacterial endophyte *Sphingomonas* sp. LK11 produces gibberellins and IAA and promotes tomato plant growth/ A. L. Khan, M. Waqas, S. M. Kang, A. Al-Harrasi, J. Hussain, A. Al-Rawahi, S. Al-Khiziri, I. Ullah, L. Ali, H. Y. Jung, I. J. Lee [et al.] // *Journal of Microbiology.*– 2014. – V. 52. – №. 8.– P. 689-695.
153. Khan, M.Y. Potential of plant growth promoting bacterial consortium for improving the growth and yield of wheat under saline conditions/ M.Y. Khan, S.M. Nadeem, M. Sohaib, M.R. Waqas, F. Alotaibi, L. Ali, Z.A. Zahir, F.N.I. Al-Barakah // *Front. Microbiol.* – 13: 958522. – <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.958522>

154. Kowall, M. Separation and characterization of surfactin isoforms produced by *Bacillus subtilis* OKB 105/ M. Kowall, J. Vater, B. Kluge, T. Stein, P. Franke, D. Ziessow // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 1998. – 204. – P. 1-8
155. Forchetti, G. Endophytic bacteria in sunflower (*Helianthus annuus* L.): isolation, characterization, and production of jasmonates and abscisic acid in culture medium/ G. Forchetti, O. Masciarelli, S. Alemano, D. Alvarez , G. Abdala [et al.]// *Applied Microbiology and Biotechnology*. – 2007. – V.76. – P. 1145-1152.
156. Kohler A. Convergent losses of decay mechanisms and rapid turnover of symbiosis genes in mycorrhizal mutualists / A. Kohler, A. Kuo, L. G. Nagy, E. Morin, K. W. Barry, F. Buscot, B. Canbäck, C. Choi, N. Cichocki, A. Clum, J. Colpaert [et al.] // *Nature genetics*. – 2015. – V. 47. – №. 4. – C. 410-415.
157. Kunkel, B. N. The roles of auxin during interactions between bacterial plant pathogens and their hosts/ B. N. Kunkel, C. P. Harper [et al.] // *Journal of experimental botany*. – 2018. – V. 69. – №. 2. – P. 245-254.
1. 137. Leonova, I.N. Identification of QTLs for Grain Protein Content in Russian Spring Wheat Varieties/ I.N. Leonova, A.A. Kiseleva, A.A. Berezhnaya, A.I. Stasyuk, I.E. Likhenko, E.A. Salina // *Plants*. 2022. – 11. – P. 437. <https://doi.org/10.3390/plants1103043>
158. Li, Z. Overview and application of QTL for adult plant resistance to leaf rust and powdery mildew in wheat/ Z. Li, C. Lan, Z. He, R. P. Singh, G. M. Rosewarne, X. Chen, X. Xia[et al.] // *Crop Science*. – 2014. –V. 54 – №. 5. – P. 1907-1925.
159. Liu, B. Isolation and partial characterization of an antifungal protein from the endophytic *Bacillus subtilis* strain EDR4/ B. Liu B, L. Huang , H. Buchenauer , Z. Kang [et al.] // *Pesticide Biochemistry and Physiology*. – 2010. – V. 98. – №. 2. – P. 305-311.
160. Ludwig-Müller, J. Plants and endophytes: equal partners in secondary metabolite production?/ J.Ludwig-Müller // *Biotechnology letters*. – 2015. – V. 37. – №. 7. – P. 1325-1334.

161. Mäder, P. Soil fertility and biodiversity in organic farming / P. Mäder , A. Fliessbach , D. Dubois , L. Gunst, P. Fried, U. Niggli [et al.] //Science. – 2002. – V. 296. – №. 5573. – P. 1694-1697.
162. Majeed, A. Isolation and characterization of plant growth-promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on plant growth promotion/ A. Majeed, M.K. Abbasi, S. Hameed, A. Imran, N. Rahim [et al.]//Front. Microbiol. – 2015. 6.198. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00198>
163. McCormick S. Rhizobial strain-dependent restriction of nitrogen fixation in a legume-Rhizobium symbiosis / S. McCormick //The Plant Journal. – 2018. – T. 93. – №. 1. – C. 3-4.
164. Mishra, S. Biofabricated silver nanoparticles act as a strong fungicide against *Bipolaris sorokiniana* causing spot blotch disease in wheat / S. Mishra, B. R. Singh, A. Singh, C. Keswani, A. H. Naqvi, H. Singh [et al.] // Plos one. – 2014. –V. 9 – P. e97881.
165. Nadeem, S.M. Mitigation of salinity-induced negative impact on the growth and yield of wheat by plant growth-promoting rhizobacteria in naturally saline conditions/ S.M. Nadeem, Z. Zahir, M. Naveed, S. Nawaz //Annals of Microbiology. – 2013. – V. 63. – №. 1. – C. 225-232.
166. Naiman, A. D. Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: impact on the production and culturable rhizosphere microflora/ A. D. Naiman, A. Latronico, I. E. Garcia de Salamone [et al.] // European Journal Of Soil Biology. – 2009. – V.45. – №.1. – P. 44-51.
167. Omer, Z. S. Indole-3-acetic acid production by pink-pigmented facultative methylotrophic bacteria / Z. S. Omer, R. Tombolini, A. Broberg, B. Gerhardson [et al.] //Plant Growth Regulation. – 2004. – V. 43. – №. 1. – P. 93-96.
168. Pieterse, C. M. Induced systemic resistance by beneficial microbes/ C. M. Pieterse, C. Zamioudis, R. L. Berendsen, D. M. Weller, S. C. Van Wees, P. A. Bakker [et al.] // Annual review of phytopathology. – 2014. – №. 52. – P. 347-375.
169. Radhakrishnan, R. Gibberellins producing *Bacillus methylotrophicus* KE2 supports plant growth and enhances nutritional metabolites and food values of

- lettuce/ R. Radhakrishnan, I. J. Lee [et al.] // Plant Physiology and Biochemistry. – 2016. – №. 109. – P. 181-189.
170. Raheem, A. Auxin production by rhizobacteria was associated with improved yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress/ A. Raheem, A. Shaposhnikov, A. A. Belimov, I. C. Dodd, B. Ali [et al.] // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2018. – V. 64. – №. 4. – P. 574-587.
171. Rashad, F. M. Isolation and characterization of multifunctional *Streptomyces* species with antimicrobial, nematicidal and phytohormone activities from marine environments in Egypt/ F. M. Rashad, H. M. Fathy, A. S. El-Zayat, A. M. Elghonaimy [et al.] // Microbiological research. – 2015. – №. 175. – P. 34-47.
172. Roongsawang, N. Isolation and characterization of a halotolerant *Bacillus subtilis* BBK-1 which produces three kinds of lipopeptides: bacillomycin L, plipastatin, and surfactin / N. Roongsawang , J. Thaniyavarn, S. Thaniyavarn, T. Kameyama, M. Haruki, T. Imanaka, M. Morikawa, S. Kanaya [et al.] //Extremophiles. – 2002. – V. 6. – №. 6. – P. 499-506.
173. Sabat, S. Comparative study of cytokinin production isolated from bacteria and shoot induction/ S. Sabat, V. K. Murthy, S. L. Shantha, D. Kushnoor, G. Agarwal, J. Thomas, S. Devaraj[et al.] // Research Journals. – 2014. – V. 13. – №. 4. – P. 544-546.
174. Schreiber, L. R. Production, partial purification, and antimicrobial activity of a novel antibiotic produced by a *Bacillus subtilis* isolate from *Ulmus Americana*/ L. R. Schreiber, G. F. Gregory, C. R. Krause, J. M. Ichida [et al.] // Canadian Journal of Botany. – 1988. – V. 66. – №. 11. – P. 2338-2346.
175. Shao, J. Contribution of indole-3-acetic acid in the plant growth promotion by the rhizospheric strain *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 / J. Shao, Z. Xu, N. Zhang , Q. Shen, R. Zhang [et al.]//Biology and fertility of soils. – 2015. – V. 51. – №. 3. – P. 321-330.
176. Shaharoona, B. Effectiveness of various *Pseudomonas* spp. and *Burkholderia caryophylli* containing ACC-Deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) / B. Shaharoona, G.M. Jamro, Z.A. Zahir, M. Arshad, K.S.

Memon //Journal of microbiology and biotechnology. – 2007. – T. 17. – №. 8. – C. 1300

177. Selvakumar, G. *Pseudomonas lurida* M2RH3 (MTCC 9245), a psychrotolerant bacterium from the Uttarakhand Himalayas, solubilizes phosphate and promotes wheat seedling growth / G. Selvakumar, J. Piyush, S. Preeti, K.M. Pankaj, K.J. Gopal, K.B. Jaideep, C.B. Jagdish, S.G. Hari // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2011. – V. 27. – № 5. – P. 1129-1135

178. Singh, H. Antagonistic compounds producing plant growth promoting rhizobacteria: a tool for management of plant disease / H. Singh //J. Adv. Microbiol. – 2017. – V. 3. – №. 4. – P. 1-12.

179. Smyth, E. M. In vitro analyses are not reliable predictors of the plant growth promotion capability of bacteria; a *Pseudomonas fluorescens* strain that promotes the growth and yield of wheat/ E. M. Smyth, J. McCarthy, R. Nevin, M. R. Khan, J. M. Dow, F. O’Gara, F. M. Doohan [et al.] // Journal of applied microbiology. 2011– V.111. – №. 3. – P. 683-692.

180. Tabatabaei, S. Indole-3-acetic acid (IAA) producing *Pseudomonas* isolates inhibit seed germination and α -amylase activity in durum wheat (*Triticum turgidum* L.) / S. Tabatabaei, P. Ehsanzadeh, H. Etesami, H. A. Alikhani, B. R. Glick[et al.] //Spanish Journal of Agricultural Research. – 2016. – V. 14. – №. 1. – P. 15.

181. Tahir, H. A. Plant growth promotion by volatile organic compounds produced by *Bacillus subtilis* SYST2 / H. A. Tahir, Q. Gu, H. Wu, W. Raza, A. Hanif, L. Wu, M. V. Colman, X. Gao [et al.] //Frontiers in Microbiology. – 2017. – V. 8. – P. 171.

182. Toader, G. Economic advantages of using bacterial biopreparations in agricultural crops / G. Toader, V. Chiurciu, N. Maiercan, P. Sevcic, V. Filip, F. Burnichi, D. Trifan, R. Luxița, C.I. Enea, E.V. Toader, L. Ilie [et al.]// Agrarian Economy and Rural Development-Realities and Perspectives for Romania. International Symposium. 11th Edition. Bucharest: The Research Institute for Agricultural Economy and Rural Development (ICEADR). – 2020. – P. 230-237.

183. Vanittanakom, N. Fengycin-a novel antifungal lipopeptide antibiotic produced by *Bacillus subtilis* F-29-3/ N. Vanittanakom, W. Loeffler, U. Koch, G. Jung [et al.] // *The Journal of antibiotics*. – 1986. – V. 39. – №. 7. – P. 888-901.
184. Wachowska, U. Biological control of winter wheat pathogens with the use of antagonistic *Sphingomonas* bacteria under greenhouse conditions/ U. Wachowska, W. Irzykowski, M. Jędryczka, A. D. Stasiulewicz-Paluch, K. Głowacka [et al.] // *Biocontrol Sci. Techn.* –2013 – V. 32. – №. 10. – P. – 1110-1122. DOI: 10.1080/09583157.2013.812185
185. Wahyudi, A. T. Characterization of *Bacillus* sp. strains isolated from rhizosphere of soybean plants for their use as potential plant growth for promoting rhizobacteria/ A. T. Wahyudi, R. P. Astuti, A. Widyawati, A. Meryandini, A. A. Nawangsih [et al.] // *Journal of Microbiology and Antimicrobials*–2011. – V. 3. – №. 2. – P. 34-40.
186. Zahir, Z.A. Comparative effectiveness of *Pseudomonas* and *Serratia* sp. containing ACC-deaminase for improving growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salt-stressed conditions/ Z.A. Zahir, G. Usman, N. Muhammad, M.N. Sajid, N.A. Hafiz // *Archives of microbiology*.2009. 191. № 5. P. 415-424.
187. Zhang, T. Antifungal compounds from *Bacillus subtilis* B-FS06 inhibiting the growth of *Aspergillus flavus* / T. Zhang, Z. Q. Shi, L. B. Hu, L. G. Cheng, F. Wang [et al.] // *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2008. – V. 24. – №. 6. – P. 783-788.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**ФИТОМЕТРИЧЕСКИЕ И ФИТОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ШТАММОВ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ**

Таблица А1 – Фитометрические показатели посевов мягкой пшеницы (сортов Сударыня, к-66407 и Trizo, к-64981)
при применении штаммов ассоциативных ризобактерий (2019, 2021, 2022 гг.)

Вариант	Стат. показатель	Всхожесть полевая, %	Фаза растения, балл	Высота растения, см	Число первичных корней, шт.	Длина первичных корней, мм	Число узловых корней, шт.	Длина узловых корней, мм	Масса корней, г	Продуктивная кустистость, шт.	Общая кустистость, шт.
Контроль (вода)	Среднее	34,53	54,68	52,9	5,5	63,4	17,4	52,6	1,4	1,4	4,2
	Стандартная ошибка	2,09	1,20	1,6	0,3	2,5	1,0	1,5	0,1	0,1	0,3
<i>Bacillus subtilis</i> 124-11	Среднее	58,10*	59,76	58,1	7,5	87,1	20,3	74,0	1,9	2,0	4,6
	Стандартная ошибка	1,92	1,13	1,3	0,5	3,0	1,1	1,6	0,2	0,1	0,3
<i>Sphingomonas sp.</i> K1B	Среднее	53,06	59,81	57,7	6,7	80,2	19,4	64,7	1,7	2,5	4,9
	Стандартная ошибка	1,86	1,08	1,4	0,3	2,3	0,9	1,7	0,1	0,1	0,4
<i>Pseudomonas fluorescens</i> SPB2137	Среднее	49,14	56,87	57,9	6,3	80,1	18,6	62,0	1,5	2,1	3,7
	Стандартная ошибка	2,29	1,13	1,3	0,4	2,8	1,1	1,5	0,1	0,1	0,3

* – различия достоверны с контролем при $P < 0,05$

Продолжение табл. А1

Вариант	Стат. показатель	Площадь флагового, см ²	Площадь предфлагового листа, см ²	Число колосков в колосе, шт.	Масса вегетативной части, г	Длина колоса, мм	Масса колоса, г	Число зерен в колосе, шт.	Масса зерен одного колоса, г	Масса 1000 зерен, г	Число зерен в колоске, шт.	Вес зерен в колоске, г	Пустые колоски в колосе, %	Продуктивность, г/раст.	Урожайность, т/га
Контроль (вода)	Среднее	4,0	4,3	14,0	1,6	84,01	1,64	32,39	1,21	33,51	2,04	0,05	2,76	1,67	2,42
	Стандартная ошибка	0,3	0,2	0,3	0,1	1,41	0,09	1,37	0,08	1,18	0,05	0,00	0,32	0,13	0,20
<i>Bacillus subtilis</i> 124-11	Среднее	4,1	5,1	14,8	1,6	85,01	1,94	37,41	1,47	37,86	2,40	0,09	1,62	3,06	4,73
	Стандартная ошибка	0,2	0,1	0,2	0,1	1,10	0,08	1,16	0,06	0,80	0,05	0,00	0,16	0,17	0,25
<i>Sphingomonas</i> sp. K1B	Среднее	4,1	5,1	14,7	1,7	86,03	1,78	34,50	1,35	37,17	2,29	0,08	1,58	2,78	4,40
	Стандартная ошибка	0,2	0,2	0,2	0,1	1,20	0,07	1,02	0,06	0,82	0,04	0,00	0,15	0,16	0,25
<i>Pseudomonas fluorescens</i> SPB2137	Среднее	4,1	5,1	14,6	1,7	83,13	1,84	35,66	1,41	36,68	2,54	0,09	2,17	3,00	4,15
	Стандартная ошибка	0,2	0,2	0,2	0,1	1,24	0,08	1,22	0,06	0,95	0,04	0,00	0,37	0,17	0,26

Таблица А2 – Фитопатологические показатели интенсивности поражения посевов мягкой пшеницы (сортов Сударыня, к-66407 и Trizo, к-64981) особо опасными болезнями при применении штаммов ассоциативных ризобактерий-(2019, 2021, 2022 гг.)

Вариант	Стат. показатель	Развитие корневой гнили, %	Развитие мучнистой росы, %	Число пятен с налетом, шт.	Площадь пятен с налетом, кв. мм	Развитие бурой ржавчины, %	Число пустул, шт.	Площадь пустулы, кв. мм	Развитие желтой ржавчины, %	Число полос с пустулами, шт.	Длина полосы с пустулами, шт.	Число пустул в полосе, шт.	Суммарное число пустул на лист, шт	Площадь пустулы, кв.мм
Контроль (вода)	Среднее	39,79	10,81	14,67	3,06	16,09	200,86	0,09	14,22	6,48	30,11	70,04	485,22	0,08
	Стандартная ошибка	3,18	2,24	3,21	0,71	2,66	46,57	0,01	3,00	0,87	2,38	6,45	116,14	0,01
<i>Bacillus subtilis</i> 124-11	Среднее	19,13	12,21	14,68	3,25	16,25	137,87	0,10	12,25	6,58	24,04	49,15	442,53	0,06
	Стандартная ошибка	4,19	3,22	4,15	0,66	2,63	24,80	0,01	2,06	0,66	1,85	5,75	120,90	0,01
<i>Sphingomonas</i> sp. K1B	Среднее	20,72	5,20	7,12	2,46	12,33	195,40	0,10	7,40	4,25	27,36	47,55	302,71	0,06
	Стандартная ошибка	3,77	1,33	1,74	0,39	2,01	38,97	0,01	1,59	0,62	2,00	3,85	86,75	0,01
<i>Pseudomonas fluorescens</i> SPB2137	Среднее	21,05	13,64	14,18	2,42	11,45	134,35	0,09	15,21	5,45	40,90	84,48	623,64	0,06
	Стандартная ошибка	5,28	3,58	3,43	0,40	1,95	28,50	0,01	4,51	0,95	4,20	12,35	199,20	0,00

* – различия достоверны с контролем при $P < 0,05$