

МБОУ Некрасовская СОШ

Всероссийский конкурс исследователей
окружающей среды

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ НОВОГО БИОПРЕПАРАТА
ДЛЯ РЕГУЛЯЦИИ РОСТА И ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ**

Автор:

Оруджова Эмира Мариф кызы

Научный руководитель:

заведующий оранжереей

ЯрГУ им. П.Г.Демидова

Сидоров Андрей Владимирович

Руководитель:

учитель МБОУ Некрасовской СОШ

Аминова Наталья Борисовна

Некрасовское, 2020 г

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

ВВЕДЕНИЕ	3
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	5
1. Свойства бактерий, определяющие ростостимулирующую активность.....	5
1.1. Азотфиксация.....	5
1.2. Фосфатмобилизирующая активность.....	5
1.3. Продукция сидерофоров.....	5
1.4. Синтез индолил-3-уксусной кислоты.....	6
2. Бактерии – как основа эффективных биопрепаратов для регуляции роста.....	7
3. Преимущества бактериальных биопрепаратов перед химическими средствами регуляции и защиты растений.....	8
ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	9
1. Определение количества жизнеспособных клеток в составе биопрепарата.....	9
2. Изучение влияния биопрепарата на посевные характеристики семян.....	9
3. Оценка влияния биопрепарата на ростовые параметры растений в условиях вегетационного опыта.....	9
4. Оценка влияния биопрепарата на корнеобразование растений в условиях водной культуры.....	10
РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ	12
1. Определение количества жизнеспособных клеток в составе биопрепарата при длительном хранении.....	12
2. Влияние биопрепарата на посевные характеристики семян пшеницы и огурца.....	13
3. Оценка влияния биопрепарата на ростовые параметры растений в условиях вегетационного опыта.....	14
4. Оценка влияния биопрепарата на корнеобразование растений в условиях водной культуры (на примере фасоли обыкновенной).....	16
ВЫВОДЫ	18
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	20

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы сельское хозяйство Ярославской области становится все более ориентировано на производство растениеводческой продукции. Растениеводство Ярославской области в основном представлено зерновыми культурами, такими как рожь, ячмень, овес, остальную часть составляют бобовые культуры и картофель. Импортозамещение, как одно из приоритетных направлений развития экономики России, свидетельствует о необходимости интенсификации развития сельскохозяйственного растениеводства нашей области. В первую очередь это требует решения задач по повышению урожайности и защиты выращиваемых растений от комплекса болезней и вредителей.

Разработка биопрепаратов, оказывающих на растение ростостимулирующее действие и защищающее от воздействия фитопатогенных организмов – новая актуальная задача в вопросе биологической защиты растений. В связи с развитием системы органического земледелия в Ярославской области предпринимаются попытки ввести альтернативные способы питания и защиты растений, предусматривающие сокращение внесения минеральных удобрений и замену традиционных пестицидов на экологически безопасные биологические препараты. Наиболее привлекательными среди биологических препаратов являются микробные препараты на основе бактерий, способствующих росту и защите растений от фитопатогенных микроорганизмов. Подобные препараты не вызывают устойчивости у патогенных организмов и значительно снижают химическую нагрузку почвы от применения пестицидов.

На кафедре ботаники и микробиологии ЯрГУ им. П.Г. Демидова в 2019 году был разработан новый биопрепарат для регуляции роста и защиты растений на основе штамма *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225. Бактерии в составе биопрепарата выделены из ризосферы растений, произрастающих в почвенно-климатических условиях Ярославской области. В лабораторных условиях была установлена их способность к синтезу ауксинов – важнейших регуляторов роста растений.

Оценка эффективности нового биопрепарата для регуляции роста и защиты растений в условиях вегетационных опытов является важнейшим этапом по получению и внедрению нового продукта для развития устойчивого сельского хозяйства нашего региона. Особое значение имеет проведение исследований, направленных на оценку влияния биопрепарата на посевные характеристики семян, линейный рост и накопление сырой массы растений, а также установление численности жизнеспособных клеток в составе биопрепарата при его длительном хранении, поскольку именно это определяет его эффективное использование.

Цель работы: изучить влияние нового биопрепарата на основе штамма *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 на посевные характеристики, ростовые процессы и корнеобразование растений.

Задачи:

1. Определить количество жизнеспособных бактериальных клеток в составе нового биопрепарата при хранении.
2. Изучить влияние нового биопрепарата на посевные характеристики семян (энергию прорастания и всхожесть).
3. Изучить влияние биопрепарата на ростовые параметры растений в условиях вегетационного опыта.
4. Оценить влияние биопрепарата на корнеобразование в условиях водной культуры.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свойства бактерий, определяющие ростостимулирующую активность

Ассоциативные бактерии способны оказывать на растение значительное и часто благоприятное влияние. Например, оптимизируют азотное питание, создают оптимальные условия для фосфорного питания растений, синтезируют фитогормоны, различные витамины, повышают устойчивость растений к неблагоприятным условиям, регулируют накопление в растениях тяжелых металлов, нитратов и других вредных соединений [1].

1.1. Азотфиксация

Биологическая фиксация азота представляет собой процесс восстановления газообразного азота в аммиак с помощью фермента нитрогеназы. Наиболее известные азотфиксирующие бактерии были выделены из ризосферы риса и сахарного тростника. Ризобактерии способные к азотфиксации: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Clostridium*, *Klebsiella*, *Pseudomonas*, *Herbaspirillum*, *Beijerinckia*, *Achromobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Clostridium*, *Azotobacter*, *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Enterobacter*, *Arthrobacter*, которые были выделены из ризосферы риса, ржи и пшеницы [2, 3].

Способность бактерий к азотфиксации увеличивает количество азота в растении, соответственно, увеличиваются вегетативные органы растения, усиливается фотосинтез, активность нитрогеназы, поглощающая способность корней, увеличивается урожайность разнообразных культур [4].

1.2. Фосфатмобилизирующая активность

Как известно, соединения фосфора являются малорастворимыми и труднодоступными для поглощения растениями. Среди бактерий есть те, которые способны к фосфатредукции, то есть преобразованию соединений фосфора в доступную для растения форму. Процесс преобразования фосфатных соединений заключается в выделении в почву органических кислот или ферментов фосфатаз, фосфолипаз, нуклеаз, фитаз, которые высвобождают ортофосфат из органических и неорганических соединений фосфора, находящихся в почве [5]. Стоит отметить, что многие бактерии, выступая как фосфатмобилизирующие, преобразуют минеральный фосфат в доступную для растений форму путем подкисления среды и при этом, при расщеплении сахаров образуются легко доступные для растения органические кислоты.

1.3. Продукция сидерофоров

Соединения железа, как и соединения фосфора, труднодоступны для потребления растениями из-за низкой растворимости его оксидов. У бактерий были обнаружены высокоспецифичные пути, в которых

используются низкомолекулярные хелаторы железа, названные сидерофорами. В связи с этим, из ризосферы были выделены рода бактерий, способные к их продукции, среди них, например, род *Pseudomonas*. Сидерофоры способны преобразовывать соединения железа в доступную для растений форму, образуя сложный ферро-сидерофор, который может перемещаться путем диффузии и возвращаться на поверхность клетки. Но стоит отметить, что и в самих растениях есть соединения — фитосидерофоры, которые также обеспечивают преобразование недоступных соединений железа. Но бактериальные сидерофоры имеют большее сродство к железу, нежели фитосидерофоры, что позволяет более полно извлекать из большинства минеральных или органических комплексов железо [6].

В почве синтез сидерофоров играет центральную роль в определении способности различных микроорганизмов улучшать развитие растений. Бактериальные сидерофоры повышают усвоение железа растениями, которые способны распознавать бактериальный комплекс железо-сидерофор. Также они оказывают большое влияние на усвоение железа растениями в присутствии других металлов, например, никеля и кадмия [6].

1.4. Синтез индолил-3-уксусной кислоты

Индолил-3-уксусная кислота (ИУК) – представитель гормона семейства ауксинов. ИУК участвует во многих аспектах роста и развития растения, она способствует развитию корневой системы, улучшению потребления различных соединений из почвы, за счет увеличения поверхности корней, индуцирует прорастание семян [7]. Симбиотические бактерии синтезируют ИУК из триптофана через индолил-3-пировиноградную кислоту. В свою очередь и фитопатогенные бактерии также могут синтезировать ИУК, но ее синтез идет через индолил-3-уксусный альдегид, и при этом фитопатогенные бактерии будут оказывать негативное влияние на рост и развитие растения [8].

В организме растения ИУК находится в запасных питательных веществах, в ассоциации с сахарами, белками, аминокислотами, при необходимости он способен высвободиться и вступать в реакции. Стоит отметить, что продукция ИУК бактериями начинается в стационарной фазе роста, когда все питательные вещества среды были исчерпаны. По мнению некоторых ученых, именно продукция ИУК при недостатке других питательных веществ в почве обеспечивает повышение вероятности симбиоза с растением. Так как в таком случае растение получит важный гормон, синтезируемый бактериями, а бактерии питательные вещества, выделяемые растением.

Синтез бактериями ауксинов рассматривается как одно из важнейших форм взаимодействий между микроорганизмами и растением-хозяином. Наиболее распространённым в природе гормоном является индолил-3-уксусная кислота (ИУК). Она применяется в сельском хозяйстве для ускорения образования корней у черенков различных растений, например цитрусовых, для укоренения саженцев. Обуславливает апикальное доминирование, стимулирует деление и растяжение растительных клеток и

тканей [9]. Способность к образованию ауксинов выявлена у различных представителей автотрофных и гетеротрофных бактерий, среди которых встречаются не только патогенные и симбиотические виды, но также свободно живущие микроорганизмы, не связанные в своей жизнедеятельности с растениями. Синтез ИУК обнаружен у бактерий родов *Acetobacter*, *Alcaligenes*, *Agrobacterium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Methilobacterium*, *Pseudomonas*, *Rhizobium*.

2. Бактерии – как основа эффективных биопрепаратов для регуляции роста

Бактериальные биопрепараты – это препараты на основе одного или нескольких штаммов бактерий, которые оказывают положительное влияние на рост и развитие растительного организма [10].

Биопрепараты оказывают большое влияние на растительный организм. Применение биопрепаратов позволяет ингибировать рост бактерий и грибов, возбудителей различных болезней растений [11], повышать качество и количество посадочного материала [12], оказывает влияние на рост нитрифицирующих и фосфатмобилизующих бактерий, которые улучшают питание растения [13], а также способствует усвоению углеводов нефти, которые являются высокотоксичными загрязнителями почвы.

Большинство биопрепаратов для обработки растений создаются на основе бактерий, выделенных из ризосферы. Наиболее часто биологические препараты изготавливаются на основе бактерий рода *Pseudomonas*. Так как бактерии, принадлежащие этому роду, обладают фунгицидными свойствами, за счет продукции гидролитических ферментов или в процессе конкуренции за пищу [14]. Стоит отметить, что бактерии рода *Pseudomonas* характеризуются высокой скоростью роста и, соответственно, быстро колонизируют ризосферу растения-хозяина [15].

Также биопрепараты изготавливаются и на основе бактерий, принадлежащих к роду *Bacillus*, в частности вид *Bacillus subtilis*. Данный вид бактерий обеспечивает улучшение роста растений благодаря продуцированию фитогормонов, растворения неорганических фосфатов, синтеза органических кислот, а также обладает фунгицидными свойствами по отношению к фитопатогенным грибам [16], так как способен к синтезу полиеновых антибиотиков [17]. Бактерии рода *Flavobacterium sp.* и вида *Arthrobacter mysorens* способны к продукции антибиотиков в отношении фитопатогенных организмов. Стоит упомянуть, что биопрепараты изготавливают и на основе некоторых грибов таких, как *Penicillium*, *Chaetomium*, *Trichoderma*, *Sordaria*, *Gliocladium*, *Aspergillus* и бактерий рода *Azotobacter* и *Stenotrophomonas* [18].

На данный момент известно большое количество биопрепаратов, например, «Фитоспорин-М», «Экстрасол» и «Бациллин» на основе бактерии *Bacillus subtilis*, «Флавобактерин» на основе бактерии *Flavobacterium sp.*, «Мизорин» на основе штамма *Arthrobacter mysorens*, «Вермикулен», «Веррукозин», «Фуникулозум» на основе гриба рода *Penicillium* и др.

3. Преимущества бактериальных биопрепаратов перед химическими средствами регуляции и защиты растений

Применение химических препаратов для улучшения роста и развития растений приводит к нарушению агроэкосистем, а, например, применение пестицидов вызывает риск загрязнения продуктов растениеводства. Использование химических фунгицидов блокирует развитие фитопатогенов, но при этом уничтожает и биологический барьер, снижая естественный иммунитет растения, негативно влияет и на само сырье, а также на окружающую среду и может привести к повышению резистентности фитопатогенов к химическим препаратам [19].

Главным преимуществом биологических препаратов для обработки растения является их нетоксичность, как для растений, так и для человека, использование в маленьких концентрациях, также они не оказывают давления на почву, а наоборот, увеличивают ее биогенность [20].

Химические препараты не обеспечивают растение доступными соединениями азота, фосфора, гормонами роста и витаминами, что обеспечивают бактериальные препараты за счет колонизации ризосферы растения и установления с ним симбиотических отношений. Также улучшается наращивание зеленой массы растения, улучшается иммунитет и общее состояние организма растения [21].

Стоит отметить, что биопрепараты имеют наиболее широкий спектр влияния на растение, при этом они не нарушают естественной экосистемы и безопасны как для самого растения, так и для человека.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Новый биопрепарат на основе штамма *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 для регуляции роста и защиты растений разработан на кафедре ботаники и микробиологии ЯрГУ им. П.Г. Демидова. Выделен из ризосферы растений, произрастающих в почвенно-климатических условиях Ярославской области. Штамм в составе биопрепарата обладает способностью к синтезу ауксинов – важнейших регуляторов роста растений, проявляет антагонистическую активность в отношении фитопатогенных микроорганизмов. Готовая для использования форма биопрепарата в виде порошка белого (бежевого) цвета с содержанием живых клеток до 10^7 КОЕ мг/л.

1. Определение количества жизнеспособных клеток в составе биопрепарата

Численность жизнеспособных клеток бактерий в составе биопрепарата определяли методом прямого счета колоний на плотной питательной среде. Для определения общей численности выросших на плотной питательной среде бактерий (N) на 5-й день после посева подсчитывали количество колоний, выросших на каждой чашке (n) и среднее число колоний (\bar{n}), выросших в двух параллельных посевах из одного разведения (r). Пересчет числа выросших колоний (\bar{n}) на общую численность выросших на питательной среде бактерий (N) производили исходя из предположения, что одна колониобразующая единица (КОЕ) возникает в результате деления отдельной микробной клетки.

Для расчета численности микроорганизмов на грамм сырой массы пользовались формулой:

$$N = \bar{n} \times r / V \times m \text{ (КОЕ/г сырой массы)}$$

где \bar{n} – среднее число колоний на чашках Петри, засеянных из одного разведения;

r – величина разведения;

V – объем инокулята (мл);

m – масса навески (г).

2. Изучение влияния биопрепарата на посевные характеристики семян

Влияние биопрепарата на посевные характеристики семян (всхожесть и энергию прорастания) изучали на пшенице и огурце. Семена предварительно стерилизовали 70% этанолом, а затем многократно промывали водопроводной водой. Обработанные семена раскладывали в чашки Петри с влажной фильтровальной бумагой по 25 штук в каждую. Семена опытного варианта опыта предварительно замачивали в раствор биопрепарата на 25-30 минут с последующим просушиванием при комнатной температуре. В качестве контроля использовали воду, а также раствор ауксина в физиологически активной концентрации. Осуществляли ежедневный уход за

посевами – посеvy увлажняли отстоянной водопроводной водой и проветривали.

Энергию прорастания семян определяли на третий день, всхожесть – на седьмой. Показатели энергии прорастания и всхожести семян рассчитывали в процентах к общему числу семян в варианте опыта.

3. Оценка влияния биопрепарата на ростовые параметры растений в условиях вегетационного опыта

Влияние биопрепарата на ростовые параметры изучали на пшенице и огурце. Подготовку семян и проращивание проводили по ранее описанной схеме (посевные характеристики семян) в соответствии с вариантами опыта.

На седьмые сутки проращивания проводили измерение длины корней и побегов. У проростков пшеницы измеряли длинный корень мочки, у огурца – главный корень. После замеров проводили взвешивание на электронных весах всех проростков каждого варианта во всех повторностях. Для каждой повторности определяли общую сырую массу корней и побегов.

4. Оценка влияния биопрепарата на корнеобразование растений в условиях водной культуры

Исследование физиологического действия биопрепарата на корнеобразование проводили на растениях фасоли в условиях водной культуры на базе лаборатории физиологии растений ЯрГУ им. П.Г. Демидова.



Рис. 1. Постановка опыта по изучению влияния биопрепарата на процессы корнеобразования.

Для опыта отбирали 200 семян фасоли. Семена предварительно дезинфицировали в 70%-ном этаноле в течение 5 минут, затем трижды промывали водопроводной водой. Семена проращивали во влажных кюветах в термостате при температуре 25°C в течение трех суток. Для дальнейшего выращивания семена пересаживали в пластиковые контейнеры с почвой объемом 2 литра. Контейнеры с посевами помещали в климатические камеры с освещением 3000 лк и температурой 25°C. Влажность субстрата контролировали ежедневно. Через три недели, когда стебли растений достигли нужной длины, проводили черенкование. Для этого у растений срезали базальные части стеблей на уровне 1 см выше корневой шейки, участки стебля с парой первых листьев служили черенками для испытания ростовой активности. Черенки обрабатывали исследуемыми растворами в соответствии с вариантами опыта. Для каждого варианта опыта брали по 10 черенков. Черенки погружали в исследуемые растворы на 6 часов, таким образом, чтобы в раствор была погружена большая часть длины стебля. После этого черенки переносили в отстоянную водопроводную воду и содержали в условиях теплицы. На 14 сутки у черенков отмечали среднее число корней, среднюю длину корней, среднюю длину стебля, на котором закладываются корни.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Определение количества жизнеспособных клеток в составе биопрепарата при длительном хранении

Путем посева на питательную среду методом последовательных разведений была установлена численность жизнеспособных клеток в составе нового биопрепарата при его длительном хранении (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Количество жизнеспособных клеток бактерий в составе нового биопрепарата при длительном хранении

Вариант	Численность живых клеток бактерий					
	1 чашка		2 чашка		3 чашка	
	КОЕ	lg	КОЕ	lg	КОЕ	lg
Биопрепарат свежий	$1,8 \cdot 10^7$	7,2	$2,1 \cdot 10^7$	7,3	$2,9 \cdot 10^7$	7,5
Биопрепарат 6 мес. хранения	$5,6 \cdot 10^6$	6,7	$7,0 \cdot 10^6$	6,8	$4,9 \cdot 10^6$	6,7
Биопрепарат 12 мес. хранения	$1,5 \cdot 10^6$	6,2	$3,3 \cdot 10^5$	5,5	$9,1 \cdot 10^5$	2,9

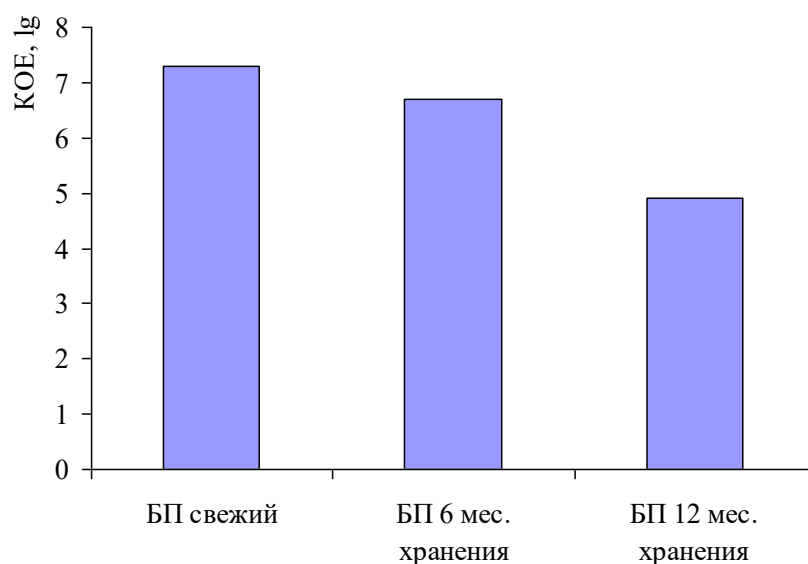


Рис. 1. Среднее количество жизнеспособных клеток бактерий в составе нового биопрепарата при длительном хранении.

Установлено, что средняя численность жизнеспособных клеток в составе биопрепарата является высокой и составляет $2,3 \cdot 10^7$ КОЕ. В процессе длительного хранения этот показатель уменьшается до 10^6 КОЕ к 6-му

месяцу и до 10^5 КОЕ к 12-му месяцу. Согласно техническим условиям и инструкциям к ранее зарегистрированным биопрепаратам на основе бактериальных штаммов, полученные значения являются допустимыми. Таким образом, даже после длительного хранения бактерии в составе нового биопрепарата сохраняют свою жизнеспособность и делают его пригодным для эффективного применения. По данным литературы известно, что жизнеспособных клеток бактерий в составе биопрепаратов может составлять от 10^3 до 10^{11} КОЕ. О сокращении числа жизнеспособных клеток в основе биопрепарата при длительном хранении ранее сообщалось в научных статьях [14].

Одновременно с оценкой числа жизнеспособных клеток бактерий в составе биопрепарата, устанавливали его влияние на посевные характеристики семян однодольных и двудольных растений, прирост линейных размеров и накопление сырой массы надземных и подземных частей, а также процессы корнеобразования.

2. Влияние биопрепарата на посевные характеристики семян пшеницы и огурца

Одними из ключевых характеристик семян, определяющих их качество, являются энергия прорастания (количество проросших семян на 3 суток от начала эксперимента) и всхожесть (количество проросших семян на 7 суток от начала эксперимента).

Данные по влиянию нового биопрепарата на посевные характеристики растений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние нового биопрепарата на посевные характеристики семян пшеницы и огурца

Вариант опыта	Энергия прорастания, %		Всхожесть, %	
	пшеница	огурец	пшеница	огурец
Биопрепарат КЖ <i>P. chlororaphis</i> subsp. <i>aurantiaca</i> GRP225	142	91	149	93
Вода (контроль)	100	100	100	100
ИУК 10^{-6} М	108	103	116	103

Установлено, что обработка семян пшеницы новым биопрепаратом способствует увеличению энергии прорастания и всхожести семян пшеницы на 42 и 49 % по сравнению с контролем, на 34 % и 33 % по сравнению с ИУК. При этом посевные характеристики огурца, обработанные биопрепаратом, не отличаются от контроля и варианта с ИУК. Таким образом, стимулирующий эффект нового биопрепарата на растения, принадлежащие к разным классам, различается. Подобный эффект для уже отмечался в научной литературе и, вероятно, обусловлен различиями в

строении, физиологии и биохимии семян однодольных и двудольных растений [19].

3. Оценка влияния биопрепарата на ростовые параметры растений в условиях вегетационного опыта

Оценку влияния биопрепарата на линейный рост и накопление сырой массы проводили на растениях пшеницы и огурца, отобранных ранее для изучения посевных характеристик. Данные приведены в табл. 2. и на рис. 1.

Таблица 2

Влияние нового биопрепарата на основе штамма *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 на линейные размеры проростков (на седьмые сутки)*

Вариант опыта	Пшеница		Огурец	
	Средняя длина		Средняя длина	
	см	%	см	%
Биопрепарат на основе <i>P. chlororaphis</i> subsp. <i>aurantiaca</i> GRP225	8,2±0,39	115	5,3±0,25	129
	9,4±0,43	159	2,9±0,14	104
Вода	7,1±0,34	100	4,1±0,22	100
	5,9±0,27	100	2,8±0,13	100
ИУК 10 ⁻⁶ М	7,3±0,37	103	4,9±0,25	120
	5,8±0,31	98	2,9±0,14	104

*числитель – побег, знаменатель – корень

Для пшеницы установлено, что обработка новым биопрепаратом способствует увеличению у растений средней длины побега на 12-15 % по отношению к контролю и варианту с ИУК. При этом средняя длина корней у растений, обработанных биопрепаратом, почти на 60 % выше контроля и ИУК. Таким образом, наиболее выраженное стимулирующее влияние нового биопрепарата отмечается для подземных органов растений. Это может быть обусловлено тем, что ауксины – биологические активные вещества в составе биопрепарата способствуют у растений активному корнеобразованию. Кроме того, наблюдаемые различия в эффективности биопрепарата по сравнению с ИУК могут объясняться присутствием в нем дополнительных регуляторов роста, определяющих рост и развитие корневой системы [19].

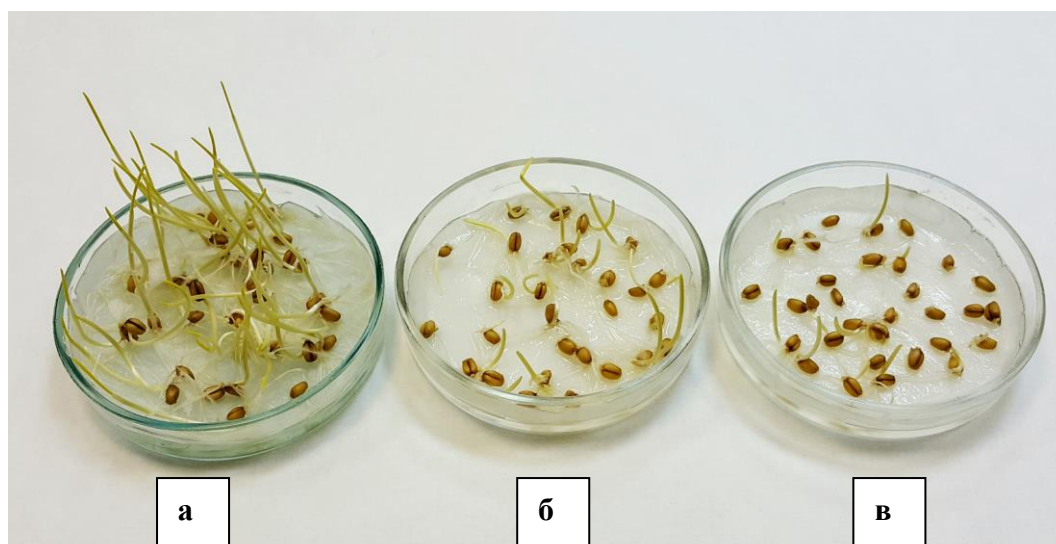


Рис. 1. Влияние биопрепарата на основе *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 на развитие пшеницы: а – биопрепарат; б - ИУК 10^{-6} М; в – вода (контроль).

У огурца обработка биопрепаратом способствует увеличению средней длины побега почти на 30% по сравнению с контролем и 10% по сравнению с ИУК. В то же время, влияния биопрепарата на линейные размеры корней не отмечается.

Стимулирующее влияние биопрепарата на исследуемые тест-культуры подтверждается и данными по накоплению сырой массы побегов и корней проростков (табл. 3).

Таблица 3
Влияние нового биопрепарата на основе штамма *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 на накопление сырой массы побегов и корней проростков*

Вариант опыта	Пшеница		Огурец	
	г	%	г	%
Биопрепарат на основе <i>P. chlororaphis</i> subsp. <i>aurantiaca</i> GRP225	0,08	114	0,18	129
	0,06	150	0,03	100
Вода (контроль)	0,07	100	0,14	100
	0,04	100	0,03	100
ИУК 10^{-6} М	0,07	100	0,16	114
	0,05	125	0,03	100

*числитель – побег, знаменатель – корень

Наблюдаемые различия в стимулирующем эффекте нового биопрепарата на линейные размеры и массу надземных и подземных органов растений, вероятно, могут быть обусловлены биологическими и физиолого-

биохимическими особенностями растений, принадлежащих к разным классам.

4. Оценка влияния биопрепарата на корнеобразование растений в условиях водной культуры (на примере фасоли обыкновенной)

Данные по влиянию биопрепарата на корнеобразование представлены в табл. 4. и на рис. 2.

Таблица 4

Влияние нового биопрепарата на основе штамма *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 на корнеобразование черенков фасоли (на 14 сутки)

Вариант опыта	Среднее число корней		Средняя длина корней		Средняя длина стебля, на котором закладываются корни	
	шт	%	см	%	см	%
КЖ <i>P. chlororaphis</i> subsp. <i>aurantiaca</i> GRP225	51,9±2,36	625	9,9±0,47	194	6,8±0,35	567
Вода	8,3±0,44	100	5,1±0,27	100	1,2±0,07	100
ИУК 10 ⁻⁶ М	33,6±1,61	405	7,3±0,32	143	6,0±0,31	500

Установлено, что обработка черенков фасоли новым биопрепаратом на основе штамма *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 способствует шестикратному увеличению у черенков среднего числа формирующихся корней, средняя длина которых в 2 раза превышает контроль, а также почти в 6 раз увеличивает среднюю длину стебля, на котором закладываются корни.



Рис. 2. Влияние биопрепарата на основе *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 на корнеобразование черенков фасоли: а – биопрепарат; б - ИУК 10^{-6} М; в – вода (контроль).

Следует отметить, что стимулирующее действие биопрепарата превышает эффект применения синтетической ИУК 10^{-6} М, проявляющееся в большем числе формирующихся корней и их длине. Наиболее выраженное стимулирующее действие на процессы корнеобразования нового биопрепарата по сравнению с ИУК может быть обусловлено присутствием в его составе ряда других биологически активных веществ, таких как витамины, сидерофоры и др. [7].

ВЫВОДЫ

1. Количество жизнеспособных клеток в составе нового биопрепарата на основе штамма *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225 высоко и составляет $2,3 \cdot 10^7$ КОЕ. В процессе длительного хранения этот показатель сохраняется на эффективном уровне (10^6 КОЕ).

2. Обработка пшеницы новым биопрепаратом увеличивает энергию прорастания и всхожесть семян до 40-50% по отношению к контролю, на 30-35% по отношению к варианту с ИУК.

3. Новый биопрепарат стимулирует рост подземных органов пшеницы до 60% по отношению к контролю. У огурца наибольший стимулирующий эффект отмечен для надземных органов (до 30% по отношению к контролю).

4. Обработка биопрепаратом черенков фасоли способствует шестикратному увеличению среднего числа формирующихся корней (средняя длина которых в 2 раза превышает контроль), а также почти в 6 раз увеличивает среднюю длину стебля, на котором закладываются корни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка эффективных и безопасных регуляторов роста растений является важнейшей задачей в развитии устойчивого сельского хозяйства. Ростостимулирующие свойства ассоциативных бактерий делают их ценнейшим объектом передового биотехнологического производства.

В настоящей работе было показано, что биопрепарат на основе штамма *P. chlororaphis* subsp. *aurantiaca* GRP225, разработанный в лаборатории физиологии и биохимии ЯрГУ им. П.Г. Демидова, способствует увеличению посевных показателей семян, стимулирует линейный рост, накопление сырой массы растений, процессы корнеобразования.

Дальнейшие исследования эффективности нового биопрепарата будут способствовать его активному внедрению на рынок регуляторов роста и средств защиты растений, в том числе – для развития агропромышленного кластера Ярославского региона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асатурова А. М. Изучение влияния бактериализации семян на рост и развитие растений озимой пшеницы / Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2013. — №85. — С. 43-56.
2. Кадермас И.Г. Формирование фотосинтетического и симбиотического аппаратов растений и их вклад в повышение продуктивности агроценозов гороха посевного (*Pisum sativum* L.) // дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук: 03.02.08 / Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина – Омск, 2014. – 147 с.
3. Лукаткин А.А., Ибрагимова С.А., Ревин В. В. Исследование антифунгальных свойств *Pseudomonas aureofaciens* 2006 // Вестник оренбургского государственного университета. – 2009. – №6. – С. 211-213.
4. Шабаев В.П. Роль биологического азота в системе «почва-растение» при внесении ризосферных: дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук: 06.01.04 / Институт физ.-хим. и биол. проблем почвоведения РАН. – Пушкино, 2004. – 453 с.
5. Феоктистова Н.В. и др. Ризосферные бактерии // Ученые записки казанского университета. Серия естественные науки. – 2016. – Т. 158. – №2. – С. 207-224.
6. Bulgarelli D and etc. Structure and Functions of the Bacterial Microbiota of Plants // The Annual Review of Plant Biology. – 2013. – № 64. – P. 807-838.
7. Шеховцова Н.В. и др. Образование ауксинов эндофитными бактериями подземных органов *Dactylorhiza maculate* (L.) Soó (Orchidaceae) // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 12. – С. 366-368.
8. Bulgarelli D and etc. Structure and Functions of the Bacterial Microbiota of Plants // The Annual Review of Plant Biology. – 2013. – № 64. – P. 807-838.
9. Демченко М.М. Ризосферные микроорганизмы в системе почва-растение // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2008. – №3. – С. 15-18.
10. Моргун В.В., Коць С.Я., Кириченко Е.В. Ростстимулирующие ризобактерии и их практическое применение // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009 г. – №2. – С. 187-207.
11. Кабалина Д. В. и др. Антагонистическая активность биопрепаратов в отношении фитопатогенов бактериальной и грибковой природы // Новые технологии. – 2018. – №2. – С. 36-41.
12. Устинова Т.С. Изучение влияния биопрепаратов на рост сеянцев хвойных пород // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2014. – №39. – С. 92-95.
13. Хамова О.Ф. и др. Влияние бактериальных препаратов на биологическую активность чернозема выщелоченного и урожайность зерновых культур // Вестник омского государственного аграрного университета. – 2016. – №3. – С. 44-48.

14. Dunne, C. and etc. Combining proteolytic and phloroglucinol-producing bacteria for improved biocontrol of *Pythium* – mediated damping-off of sugar beet // *Plant pathology*. – 1998. – № 47. – P. 299-307.

15. Yang J and etc. Comparison of the Rhizosphere Soil Microbial Community Structure and Diversity Between Powdery Mildew-Infected and Noninfected Strawberry Plants in a Greenhouse by High-Throughput Sequencing Technology [Электронный ресурс] // *Curr Microbiol*.

16. Артамонова М.Н. Ризосферные бактерий *Bacillus Subtilis* и их ростстимулирующее влияние на *Cucurbita pepo* L.: дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук: 03.02.03 / Ульяновский государственный университет. – Ульяновск, 2017. – 181 с.

17. Купин Г.А. Влияние биопрепарата «Экстрасол» на изменение микробиальной обсемененности фруктов в процессе хранения // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – №131. – С. 450-461.

18. Логинов О.Н. Новые микробиологические препараты для сельского хозяйства и восстановления окружающей среды: автореф. дис. на соиск. уч. степ. канд. биол. наук: 03.00.23 / Институт биологии УНЦ РАН. – Уфа, 2004. – 296 с.

19. Штерншис М.В. и др. Штаммы бактерий рода *Bacillus* как потенциальная основа биопрепаратов для контроля болезней ягодных культур // *Достижения науки и техники АПК*. – 2011. – №10. – С. 8-10.

20. Anelise Beneduzi and etc. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): Their potential as antagonists and biocontrol agents // *Genetics and Molecular Biology*. – 2012. – №35. – P. 1044-1051.

21. Устинова Т.С. Изучение влияния биопрепаратов на рост сеянцев хвойных пород // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. – 2014. – №39. – С. 92-95.