



УДК УДК 579.26:581.19

Влияние предпосевной обработки семян микробными препаратами на всхожесть семян и накопление фотосинтетических пигментов в листьях *Trifolium pannonicum*

ЗЫКОВА

Юлия Николаевна

кандидат биологических наук, доцент, Вятский государственный агротехнологический университет, orewek7@rambler.ru

ОГОРОДНИКОВА

Светлана Юрьевна

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, svetao_05@mail.ru

ТРЕФИЛОВА

Людмила Васильевна

кандидат биологических наук, доцент, Вятский государственный агротехнологический университет, nm-flora@rambler.ru

Ключевые слова:

хлорофиллы
каротиноиды
клевер паннонский
полевая всхожесть
Rhizobium trifolii
Fischerella muscicola
Trichoderma sp

Аннотация:

Изучено влияние предпосевной обработки семян одно-, двух- и трехкомпонентными микробными препаратами, содержащими *Rhizobium trifolii*, *Fischerella muscicola*, *Trichoderma sp.*, на полевую всхожесть семян, накопление фотосинтетических пигментов в листьях и урожайность клевера паннонского (*Trifolium pannonicum* Jacq.) первого года вегетации. Наибольший стимулирующий эффект на всхожесть семян оказывали микробные суспензии, содержащие в составе *Rh. trifolii*. При обработке семян микробными суспензиями, содержащими *Rh. trifolii* (*Rh. trifolii*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma sp.*, *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma sp.*), формировался более мощный фотосинтетический аппарат с высоким содержанием хлорофиллов и каротиноидов. Инокуляция семян одно- и двухкомпонентными биопрепаратами, содержащими *Trichoderma sp.*, вызывала снижение уровня хлорофиллов в листьях клевера. Микробные суспензии, содержащие *F. muscicola* (*F. muscicola* и *Rh. trifolii* + *F. muscicola*), не оказывали влияния на пул зеленых пигментов в листьях клевера. Выявлена сильная положительная корреляция ($r = 0.72$) между накоплением биомассы растениями клевера паннонского и содержанием хлорофиллов в листьях. Наибольшую эффективность проявил трехкомпонентный биопрепарат, содержащий *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma sp.* Микробные суспензии *Rh. trifolii*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma sp.*, *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma sp.* показали свою эффективность на растениях клевера паннонского и могут быть использованы для производства биопрепаратов, повышающих продуктивность агроценозов.

© 2023 Петрозаводский государственный университет

Введение

Клевер паннонский (*Trifolium pannonicum* Jacq.) – один из перспективных видов для интродукции на территории Северо-Востока европейской части РФ. Это многолетнее травянистое растение с несколькими прямыми, в основании восходящими, иногда маловетвистыми стеблями 40–80 см в высоту. Клевер паннонский – питательное кормовое растение, хороший медонос, может расти в культуре до 10 лет, отличается морозо- и засухоустойчивостью (Нечаева и др., 2020). Поверхность стеблей покрыта оттопыренным опушением. Из-за опущения листьев и грубости стеблей в зеленой массе животными поедается плохо, поэтому его рекомендуют использовать на сено или силосовать. Показано влияние минерального питания на урожайность семян клевера (Кшникаткина, Семенчев, 2013). В биомассе клевера паннонского содержатся биологически активные вещества (флавонолы, катехины, каротиноиды, пектины) (Храмова и др., 2020).

Перспективным направлением повышения урожайности бобовых культур является применение регуляторов роста растений. Предпосевная обработка семян ростстимулирующими препаратами способствует энергичному прорастанию семян, увеличению вегетативной массы растений и фотосинтетической поверхности. В условиях агроценозов растение сталкивается с действием неблагоприятных факторов: патогенные виды бактерий, грибов, вирусов; загрязнение почвы поллютантами; нехватка доступных для растения макро- и микроэлементов и др. Поэтому в настоящее время востребованным становится поиск и разработка биопрепаратов полифункционального действия, которые стимулируют рост и развитие растений, увеличивая при этом их фотосинтетическую активность, защищают от патогенной микрофлоры, обеспечивают растения органогенными элементами, проявляют фитопротекторную функцию в условиях химического загрязнения почв.

Для получения (разработки) биопрепаратов полифункционального действия перспективными являются аборигенные микроорганизмы различных систематических групп, выделенные в чистую культуру из почв Кировской области.

Известно, что клубеньковые бактерии, относящиеся к ризомикробам (Growth Promoting Rhizobacteria), повышают уровень симбиотической азотфиксации бобовых культур, стимулируют иммунитет и увеличивают урожайность (Домрачева и др., 2019). Кроме ризобактерий полезными свойствами для высшего растения обладают и другие группы почвенных микроорганизмов, такие как сине-зеленые водоросли – цианобактерии (ЦБ) и микромицеты. ЦБ в прижизненных выделениях содержат широкий спектр веществ высокой биологической активности (Андреюк и др., 1990; Сиренко, Козицкая, 1988; Rezanka, Dembitsky, 2006; Домрачева и др., 2009). В культуральной жидкости цианобактерии *Nostoc paludosum* методом ВЭЖХ обнаружены: ликопин, лютеин – проявляющие антиоксидантную активность, витамин А и провитамины, предшественники гормонов роста растений – гиббереллинов, цианопептид – борофицин (Фокина, Домрачева и др., 2019). ЦБ *N. muscorum* вырабатывает цианопептид борофицин, обладающий антимикробной, в том числе антифунгальной, активностью (Banker, Carmeli, 1998; Swain et al., 2017). Цианобактериальная инокуляция семян растений и/или внесение ЦБ в среду выращивания оказывают положительное влияние на физиолого-биохимические процессы растений, стимулируют рост, приводят к повышению урожайности культур и устойчивости растений в загрязненных средах (Домрачева, 2005; Домрачева и др., 2009; Коваль, Огородникова, 2014). ЦБ выполняют роль биоиндукторов иммунитета растений в условиях загрязнения среды фитопатогенами (Домрачева, 2005; Swain et al., 2017).

ЦБ обладают также повышенной адаптивной устойчивостью к экстремальным условиям обитания (отсутствие влаги, засоленные субстраты, почвы, загрязненные тяжелыми металлами, и др.) и свободно вступают во взаимосвязи с самой разнообразной микрофлорой (Зыкова, 2016).

Микромицеты, например р. *Trichoderma*, относятся к числу доминантов в почвах, подвергшихся разнообразному антропогенному загрязнению, при этом триходерма выполняет роль микодеструктора благодаря синтезу разнообразных экзоферментов (Стариков и др., 2022). В практике сельского хозяйства наибольший интерес вызывает способность триходермы к синтезу соединений, подавляющих развитие фитопатогенных бактерий и грибов (Woo et al., 2014). В ряде опытов показано, что смешанный инокулюм не только подавляет развитие фитопатогенов, но и увеличивает высоту растений, их биомассу, усиливает фотосинтез, повышает содержание в листьях хлорофилла (Стариков и др., 2022; Домрачева и др., 2019).

Целью работы было изучение влияния предпосевной обработки семян микробными препаратами, содержащими *Rhizobium trifolii*, *Fischerella muscicola*, *Trichoderma* sp., на всхожесть семян и накопление

фотосинтетических пигментов в листьях клевера паннонского.

Материалы

В работе использовали семена клевера паннонского *Trifolium pannonicum* сорта Снежок, выведенный сотрудниками ФАНЦ Северо-Востока: М. Н. Грипась, Е. Г. Арзамасовой, Е. В. Поповой (Попова и др., 2022).

Изучали влияние предпосевной обработки семян микробными препаратами на полевую всхожесть клевера и накопление фотосинтетических пигментов в листьях растений первого года жизни. Для приготовления микробных препаратов использовали клубеньковые бактерии *Rhizobium trifolii*, цианобактерии *Fischerella muscicola* и микромицеты *Trichoderma* sp. из коллекции лаборатории микробиотехнологии и биомониторинга сельскохозяйственных и техногенных территорий Вятского ГАТУ (Домрачева и др., 2021; Товстик, 2017; Козылбаева и др., 2018, 2019). Культуры микроорганизмов выращивали на стандартных питательных средах с добавлением агара (2 %) для обеспечения прилипаемости инокулятов к семенам: *Rhizobium trifolii* культивировали на бобовой среде, *Fischerella muscicola* – на среде Громова № 6 без азота (Фокина, Лялина и др., 2019), *Trichoderma* sp. – на среде Чапека (Домрачева и др., 2019). Культивирование фототрофных микроорганизмов проводили в течение 1.5 месяца, гетеротрофных – 9 суток. Перед закладкой опыта проводили подсчет титра микроорганизмов, который составил для *Rhizobium trifolii* – $6.1 \cdot 10^9$ кл/мл, *Fischerella muscicola* – $8.1 \cdot 10^6$ кл/мл, *Trichoderma* sp. – $7.15 \cdot 10^7$ конидий/мл. В опытах применяли одно-, двух- и трехкомпонентные микробные композиции (табл. 1).

Перед посевом семена скарифицировали с использованием наждачной бумаги (NO:1000). Семена клевера выдерживали в микробных суспензиях в течение 15 минут согласно вариантам опыта (см. табл. 1). Далее, не промывая, сразу же проводили посев семян на заранее подготовленные деланки рандомизированным методом по вариантам и повторностям опыта. Время посева – май 2022 г., норма высева семян – 15 г/кг. Повторность опыта трехкратная. Глубина заделки семян 1.5–2.0 см. Опыт проводили на территории агротехнопарка Вятского ГАТУ. Почва на деланках дерново-подзолистая среднесуглинистая, pH почвенного раствора 4.4, содержание органического вещества в почве находилось на уровне 1.73 %. Обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием в целом была на высоком уровне и составляла 309 и 202 мг/кг соответственно, что указывает на высокое плодородие почвы. Всхожесть семян клевера в полевых условиях оценивали на 7-е сутки по количеству появившихся проростков.

Таблица 1. Варианты опыта по предпосевной обработке семян клевера паннонского

№ п/п	Вариант
1	Контроль (без обработки)
2	<i>Rhizobium trifolii</i>
3	<i>Fischerella muscicola</i>
4	<i>Trichoderma</i> sp.
5	<i>Fischerella muscicola</i> + <i>Trichoderma</i> sp.
6	<i>Rhizobium trifolii</i> + <i>Fischerella muscicola</i>
7	<i>Rhizobium trifolii</i> + <i>Trichoderma</i> sp.
8	<i>Rhizobium trifolii</i> + <i>Fischerella muscicola</i> + <i>Trichoderma</i> sp.

Определение фотосинтетических пигментов в зеленых листьях клевера, отобранных в фазу стеблевания, проводили по общепринятой в физиологии растений методике. Пробы листьев массой 0.15 г фиксировали кипящим ацетоном. Содержание пластидных пигментов в ацетоновом экстракте оценивали фотометрически. Хлорофилл *a*, *b* и каротиноиды определяли при длинах волн 662, 644 и 470 нм соответственно (Шлык, 1971; Маслова и др., 1986). Долю хлорофиллов в светособирающем комплексе (ССК) рассчитывали по формуле (Lichtenthaler, 1987), исходя из того, что весь хлорофилл *b* находится в ССК ФСII, а соотношение Хл *a* / Хл *b* в этом комплексе равно примерно 1.2:

$$\text{Доля хлорофилла в ССК} = (\text{Хл } b + 1.2 \text{ Хл } b) / (\text{Хл } a + \text{Хл } b).$$

Содержание пигментов в листьях выражали в мг/г сухой массы.

Для определения урожая биомассы клевера паннонского надземную часть растений срезали в конце вегетационного сезона и высушивали в сушильном шкафу в соответствии со стандартной методикой.

Методы

В таблицах представлены среднеарифметические данные трех повторностей вариантов опыта и стандартные ошибки. Полученные результаты обрабатывали статистически с использованием стандартного пакета Microsoft Office Excel и Past 2.17. Достоверные различия между средними рассчитывали с помощью LSD-теста при $p < 0.05$. Для интерполяции данных использовали метод обратных взвешенных расстояний (IDW) (Павлова, 2017).

Результаты

Весна 2022 г. была аномально холодной и затяжной, однако неблагоприятные погодные условия не повлияли на прорастание семян и развитие растений клевера. В полевых опытах всхожесть семян контрольного варианта (без обработки) составляла 68 %, что на 16 % выше производственной всхожести посевов клевера паннонского.

Предварительная инокуляция семян микробными препаратами оказывала положительное влияние на всхожесть клевера (табл. 2). Микробные суспензии, содержащие в составе *Rh. trifolii*, оказывали наибольший стимулирующий эффект на всхожесть семян. Среди однокомпонентных препаратов клубеньковые бактерии (*Rh. trifolii*) были более эффективны по сравнению с ЦБ и микромицетами. Двухкомпонентные инокуляты, в состав которых входил *Rh. trifolii*, также значительно стимулировали полевую всхожесть семян, доля взшедших семян была на 18 % выше, чем в контроле. Максимальный показатель всхожести – 91 % был отмечен в варианте с обработкой семян трехкомпонентной ассоциацией микроорганизмов (*Rhizobium trifolii* + *Fischerella muscicola* + *Trichoderma* sp.).

Таблица 2. Влияние предпосевной обработки микробными препаратами на всхожесть семян клевера паннонского

№ п/п	Вариант	Всхожесть, %
1	Контроль (без обработки)	68 ± 0.41
2	<i>Rhizobium trifolii</i>	78 ± 0.50
3	<i>Fischerella muscicola</i>	71 ± 0.47
4	<i>Trichoderma</i> sp.	70 ± 0.38
5	<i>Fischerella muscicola</i> + <i>Trichoderma</i> sp.	73 ± 0.42
6	<i>Rhizobium trifolii</i> + <i>Fischerella muscicola</i>	87 ± 0.63
7	<i>Rhizobium trifolii</i> + <i>Trichoderma</i> sp.	85 ± 0.70
8	<i>Rhizobium trifolii</i> + <i>Fischerella muscicola</i> + <i>Trichoderma</i> sp.	91 ± 0.71

В связи с поздней и затяжной весной растения после всходов замедлили свое развитие, но к концу июля благодаря увеличению среднесуточной температуры до +20.4 °С и умеренной влажности набрали достаточную биомассу. В августе из-за отсутствия дождей средняя влажность составила 58 %, растения замедлили вегетацию, не достигнув фазы цветения даже к концу вегетационного периода. В ходе наблюдений было выявлено, что полнота всходов и количество более развитых растений в конце вегетационного сезона были в вариантах с инокуляцией семян тройной ассоциацией *Rhizobium trifolii* + *Fischerella muscicola* + *Trichoderma* sp.

Биопродукционный процесс связан с фотосинтезом, содержание пигментов в фотосинтезирующих органах определяет рост растений и накопление урожая. Пигментный комплекс растений представлен пластидными пигментами – хлорофиллами и каротиноидами, которые принимают участие в процессах фотосинтеза. Основными ассимилирующими органами у клевера являются листья. Показатели содержания и соотношения фотосинтетических пигментов, доля хлорофиллов в светособирающем комплексе определяют продуктивность фотосинтетической деятельности посевов.

Было изучено влияние предпосевной обработки семян микробными препаратами на накопление фотосинтетических пигментов в листьях клевера паннонского. Листья клевера для изучения пигментного фонда были отобраны у растений в фазу вегетации в конце лета.

Установлено, что обработка семян микробными препаратами оказывала влияние на фотосинтетический аппарат листьев. В зависимости от состава микробного инокулята отмечали разнонаправленные изменения в пигментном фонде опытных растений (табл. 3).

Таблица 3. Действие микробных препаратов на пигментный фонд листьев клевера паннонского

№ п/п	Вариант	Содержание пигментов, мг/г сухой массы			Доля хлорофилла в ССК, %
		хлорофилл а	хлорофилл b	каротиноиды	
1	Контроль (без обработки)	5.19 ± 0.13	2.62 ± 0.06	1.00 ± 0.01	73.75
2	<i>Rh. trifolii</i>	6.28 ± 0.48*	2.76 ± 0.22	1.62 ± 0.14*	67.25
3	<i>F. muscicola</i>	5.53 ± 0.25*	2.55 ± 0.05	1.49 ± 0.11*	69.39

4	<i>Trichoderma</i> sp.	4.76 ± 0.17*	1.97 ± 0.03*	1.46 ± 0.02*	64.43
5	<i>F. muscicola</i> + <i>Trichoderma</i> sp.	4.56 ± 0.01*	1.81 ± 0.02*	1.17 ± 0.07*	62.60
6	<i>Rh. trifolii</i> + <i>F. muscicola</i>	5.42 ± 0.02*	2.02 ± 0.08*	1.37 ± 0.01*	59.77
7	<i>Rh. trifolii</i> + <i>Trichoderma</i> sp.	6.03 ± 0.36*	2.25 ± 0.11*	1.77 ± 0.12*	59.81
8	<i>Rh. trifolii</i> + <i>F. muscicola</i> + <i>Trichoderma</i> sp.	7.29 ± 0.36*	2.99 ± 0.14*	2.27 ± 0.10*	64.02

Примечание. * - различия между контролем и опытом достоверны при $p \leq 0.05$.

Предпосевная инокуляция семян клевера одно- и двухкомпонентными биопрепаратами, содержащими *Trichoderma* sp., приводила к снижению накопления хлорофиллов в листьях клевера (рис. 1). Концентрация хлорофиллов в листьях в среднем была меньше на 17 % по сравнению с контролем. В большей степени уменьшалось содержание хлорофилла *b*, уровень которого составлял 70–75 % от контрольного варианта. Хлорофилл *a* был более устойчив к действию микробных суспензий, содержащих *Trichoderma* sp. О чем свидетельствует изменение величины соотношения хлорофиллов *a/b* в сторону увеличения до 2.4–2.5 по сравнению с контролем -1.9

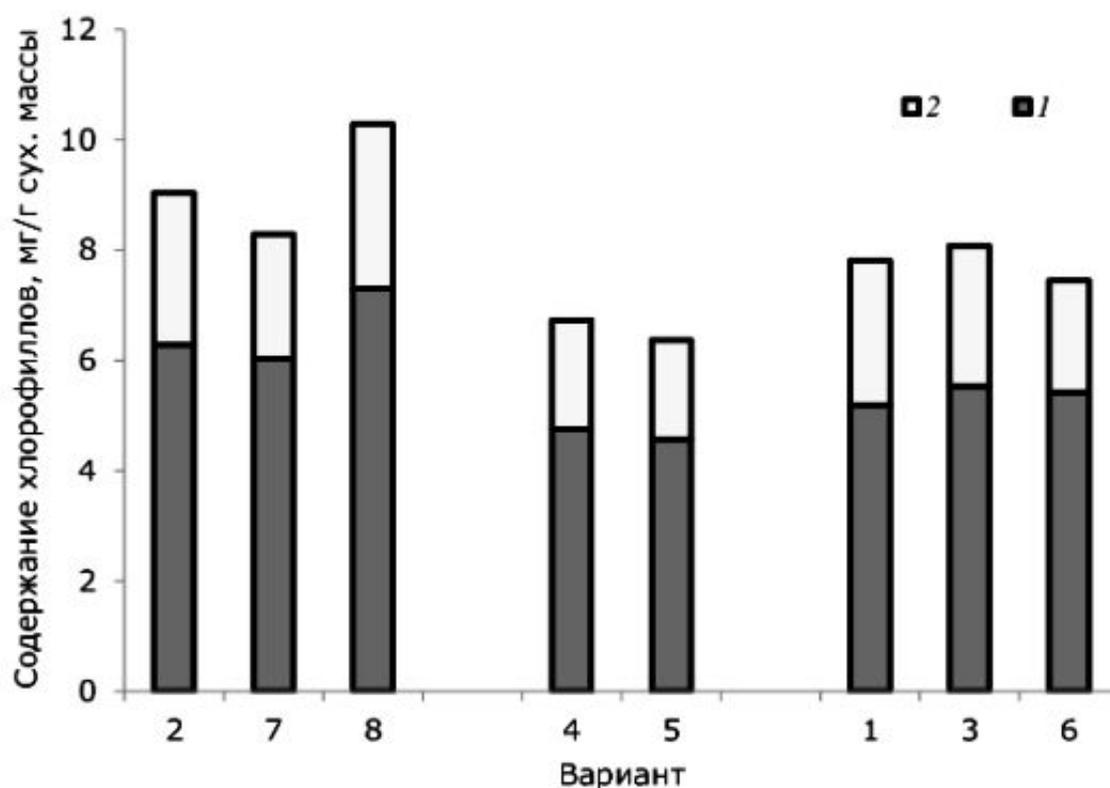


Рис. 1. Содержание хлорофиллов в листьях клевера паннонского, обработанного перед посадкой микробными препаратами. 1 - хлорофилл *a*, 2 - хлорофилл *b*. Варианты: 1. Контроль (без обработки), 2. *Rh. trifolii*, 3. *F. muscicola*, 4. *Trichoderma* sp., 5. *F. muscicola* + *Trichoderma* sp., 6. *Rh. trifolii* + *F. muscicola*, 7. *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., 8. *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.

Fig. 1. The content of chlorophylls in the leaves of Pannonian clover treated with microbial preparations before planting. 1 - chlorophyll *a*, 2 - chlorophyll *b*. Options: 1. Control (without treatment), 2. *Rh. trifolii*, 3. *F. muscicola*, 4. *Trichoderma* sp., 5. *F. muscicola* + *Trichoderma* sp., 6. *Rh. trifolii* + *F. muscicola*, 7. *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., 8. *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.

Действие на семена суспензий, содержащих в составе ЦБ (*F. muscicola* и *Rh. trifolii* + *F. muscicola*), не приводило к значимым изменениям уровня зеленых пигментов в листьях клевера первого года вегетации, содержание хлорофиллов было близко к контролю.

По результатам кластерного анализа выделяется две группы опытных вариантов, которые различаются накоплением пигментов в листьях клевера (рис. 2).

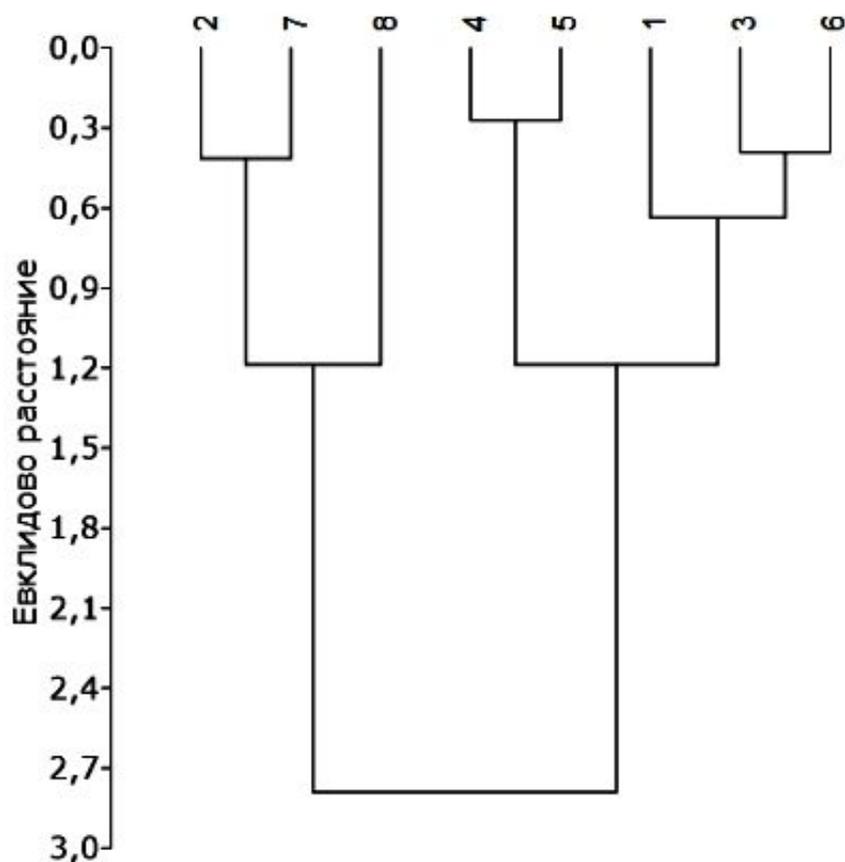


Рис. 2. Дендрограмма сходства вариантов опыта по содержанию пластидных пигментов в листьях клевера паннонского. Варианты: 1. Контроль (без обработки), 2. *Rh. trifolii*, 3. *F. muscicola*, 4. *Trichoderma* sp., 5. *F. muscicola* + *Trichoderma* sp., 6. *Rh. trifolii* + *F. muscicola*, 7. *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., 8. *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.

Fig. 2. Dendrogram of the similarity of the variants of the experiment on the content of plastid pigments in the leaves of Pannonian clover. Options: 1. Control (without treatment), 2. *Rh. trifolii*, 3. *F. muscicola*, 4. *Trichoderma* sp., 5. *F. muscicola* + *Trichoderma* sp., 6. *Rh. trifolii* + *F. muscicola*, 7. *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., 8. *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.

В опытных вариантах, выделенных в первую группу (опыты с *Rh. trifolii*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.), отмечали повышенное содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях клевера, которое составляло соответственно 9.20 ± 1.01 и 1.89 ± 0.34 мг/г сухой массы. В вариантах опыта, выделенных во 2-ю группу, уровень фотосинтетических пигментов был значительно ниже, концентрация зеленых и желтых пигментов в листьях составляла 7.29 ± 0.72 и 1.30 ± 0.21 мг/г сухой массы. Различия в пигментном фонде клевера обусловлены влиянием микробных препаратов, которыми обрабатывали семена перед посадкой.

Положительный эффект на фотосинтетический комплекс листьев клевера отмечен в вариантах с предпосевной обработкой семян препаратами, содержащими *Rh. trifolii* (*Rh. trifolii*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.). Суммарное содержание хлорофиллов в листьях было достоверно выше, чем в контрольном варианте, и варьировало в пределах 8.3–10.3 мг/г сухой массы. Среди хлорофиллов в большей степени возрастала концентрация хлорофилла *a*. Доля хлорофилла *a* в пигментном фонде листьев клевера, семена которого были инокулированы микробными суспензиями, увеличилась в 1.2–1.4 раза по сравнению с контролем. Хлорофилл *b* был менее чувствителен к действию микробных препаратов, содержащих *Rh. trifolii*.

В листьях клевера паннонского доля хлорофиллов, принадлежащих ССК, варьировала в пределах 60–73 % от общего фонда хлорофилла (см. табл. 3, рис. 1). Максимальное накопление хлорофилла в ССК отмечено в контроле, в опытных вариантах доля хлорофилла в ССК была ниже. Уменьшение доли

хлорофилла в ССК в листьях опытных растений, вероятно, обусловлено снижением уровня хлорофилла *b*, входящего в фонды светособирающих комплексов. Это предположение подтверждается данными о накоплении хлорофилла *b* в листьях опытных растений. Только в двух вариантах опыта отмечали рост содержания хлорофилла *b*, в большинстве вариантов уровень хлорофилла *b* был снижен по сравнению с контролем.

Предпосевная обработка семян микробными суспензиями вызывала увеличение содержания каротиноидов в листьях клевера паннонского (см. табл. 3). Уровень желтых пигментов в листьях опытных растений был выше в 1.2–2.3 раза по сравнению с контролем. Самое высокое содержание каротиноидов в листьях клевера отмечали в вариантах с предпосевной обработкой семян биопрепаратами, содержащими *Rh. trifolii* (*Rh. trifolii*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma sp.*, *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma sp.*). В этих же вариантах было отмечено повышенное накопление хлорофиллов, что свидетельствует о стимуляции процессов образования хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений под влиянием данных микробных препаратов.

В остальных вариантах опыта с предпосевной обработкой семян одно- и двухкомпонентными препаратами (*F. muscicola*, *Trichoderma sp.*, *F. muscicola* + *Trichoderma sp.*, *Rh. trifolii* + *F. muscicola*) уровень каротиноидов повышался в меньшей степени (на 17–50 %) при сниженном, по сравнению с контролем, содержании суммы хлорофиллов в листьях клевера. В условиях разреженных посевов клевера первого года вегетации растения не испытывают недостатка солнечной энергии и не накапливают в хлоропластах дополнительные светосборщики – каротиноиды. Вероятно, повышенное содержание каротиноидов обусловлено их антиоксидантными функциями и способствует большей устойчивости растений к действию неблагоприятных факторов среды.

В конце вегетационного периода была определена биомасса надземной части растений клевера паннонского. Выявлена сильная положительная корреляция ($r = 0.72$) между накоплением биомассы растениями клевера и содержанием хлорофиллов в листьях (рис. 3). Наибольшую эффективность проявил трехкомпонентный биопрепарат, содержащий *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma sp.* Продуктивность посевов в данном варианте опыта была на 10 % выше, чем в контроле. Урожайность посевов во многом определяется концентрацией фотосинтетических пигментов в листьях, в данном варианте уровень хлорофиллов был в 1.3 раза выше, чем в контроле, что способствовало накоплению надземной биомассы.

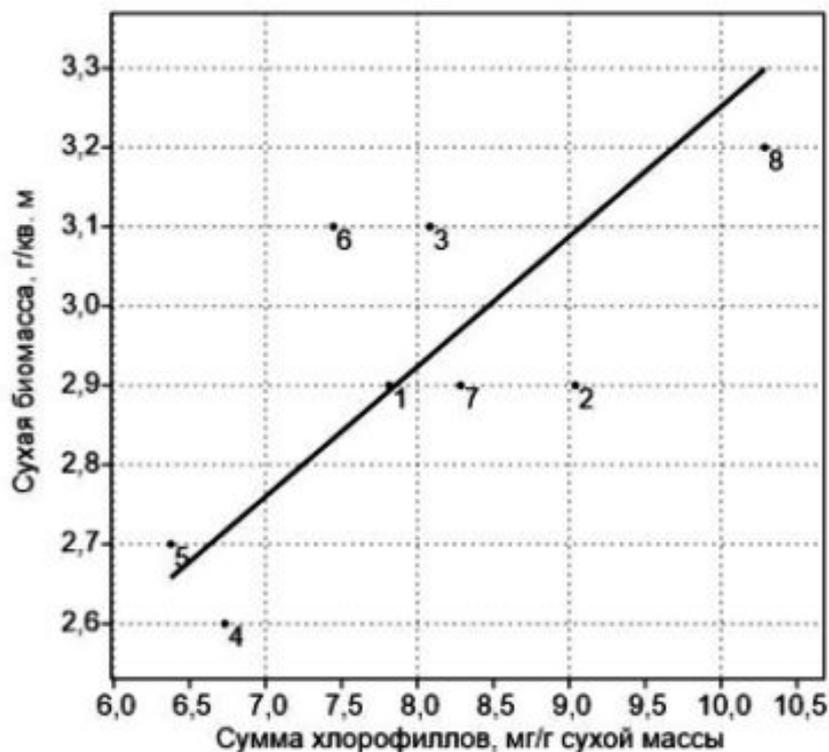


Рис. 3. Связь между содержанием хлорофиллов и биомассой надземной части растений клевера

паннонского. Варианты: 1. Контроль (без обработки), 2. *Rh. trifolii*, 3. *F. muscicola*, 4. *Trichoderma* sp., 5. *F. muscicola* + *Trichoderma* sp., 6. *Rh. trifolii* + *F. muscicola*, 7. *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., 8. *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.

Fig. 3. Relationship between the content of chlorophylls and the biomass of the above-ground part of the Pannonian clover plants. Options: 1. Control (without treatment), 2. *Rh. trifolii*, 3. *F. muscicola*, 4. *Trichoderma* sp., 5. *F. muscicola* + *Trichoderma* sp., 6. *Rh. trifolii* + *F. muscicola*, 7. *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., 8. *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.

Обсуждение

Известно, что хлорофилл в хлоропластах входит в состав светособирающего комплекса и комплекса фотосистем (антенн и реакционных центров). Хлорофилл ССК осуществляет основное поглощение света, хлорофилл антенн передает и фокусирует световую энергию в реакционные центры, где происходит ее превращение в химическую (Куренкова, 1998; Дымова, Головки, 2018). В ССК соотношение хлорофиллов *a/b* составляет 1.1-1.3 (Lichtenthaler, 1987).

Каротиноиды в пигментном комплексе растений являются дополнительными светосборщиками в области сине-фиолетового солнечного спектра, выполняют протекторную функцию (защищают реакционные центры в условиях высокой инсоляции) и являются антиоксидантами (улавливают и гасят активные формы кислорода) (Ладыгин, Ширшикова, 2006; Photosynthetic pigments, 2014).

Одним из факторов, которые способствуют накоплению пластидных пигментов в листьях клевера, может быть влияние азотфиксирующей клубеньковой бактерии *Rh. trifolii* на содержание в почве и растениях азота, который необходим для синтеза хлорофилла и белковых комплексов (Проворов и др., 2018; Домрачева и др., 2019).

Повышение интенсивности фотосинтетической деятельности клевера с помощью микробных препаратов имеет важное значение для формирования высокого урожая. Накопление пластидных пигментов свидетельствует о высокой ассимиляционной активности фотосинтетического аппарата и определяет высокую продуктивность посева клевера.

Заключение

Инокуляция семян микробными суспензиями повышала полевую всхожесть семян клевера паннонского. Наибольший стимулирующий эффект на всхожесть семян оказывали микробные суспензии, содержащие в составе *Rh. trifolii*.

Растения клевера паннонского, семена которого инокулировали микробными препаратами, отличались по накоплению пластидных пигментов. При обработке семян микробными суспензиями, содержащими *Rh. trifolii* (*Rh. trifolii*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.), формировался более мощный фотосинтетический аппарат с высоким содержанием пигментов, что свидетельствует о стимуляции процессов образования хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений под влиянием данных микробных инокулюмов.

В остальных вариантах опыта содержание хлорофиллов было снижено или близко к контролю при повышенном уровне каротиноидов. Рост пула желтых пигментов в опытных растениях свидетельствует о повышении уровня низкомолекулярных антиоксидантов и направлен на повышение устойчивости растений к неблагоприятным условиям.

Среди тестируемых микробных препаратов наибольший положительный эффект на всхожесть семян, состояние фотосинтетического аппарата растений и накопление биомассы оказывают и одно-, двух- и трехкомпонентные препараты, в состав которых входит *Rh. trifolii*. Максимальный положительный эффект на изучаемые показатели оказывает трехкомпонентная суспензия *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp. Микробные суспензии *Rh. trifolii*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp. показали свою эффективность на растениях клевера паннонского и могут быть использованы для производства биопрепаратов, повышающих продуктивность агроценозов.

Библиография

Андреюк Е. И., Коптева Ж. П., Занина В. А. Цианобактерии [Cyanobacteria]. Киев: Наукова думка, 1990. 200 с.

Домрачева Л.И. «Цветение» почвы и закономерности его развития [Soil "blooming" and patterns of its

Зыкова Ю. Н., Огородникова С. Ю., Трефилова Л. В. Влияние предпосевной обработки семян микробными препаратами на всхожесть семян и накопление фотосинтетических пигментов в листьях *Trifolium pannonicum* // Принципы экологии. 2023. Т. 13. № 2. С. 3-2.

development]. Сыктывкар, 2005. 336 с.

Домрачева Л. И., Кондакова Л. В., Попов Л. Б., Зыкова Ю. Н. Биоремедиационные возможности почвенных цианобактерий (обзор) [Bioremediation potential of soil cyanobacteria (review)] // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 1. С. 8-17. DOI: 10.25750/1995-4301-2009-1-008-017

Домрачева Л. И., Козылбаева Д. В., Ковина А. Л., Трефилова Л. В., Зыкова Ю. Н., Грипась М. Н., Изотова В. А. Оптимизация микробиологического состава биопрепарата при выращивании лядвенца рогатого (*Lotus corniculatus* L.) [Optimization of the microbiological composition of the biological product in the cultivation of *Lotus corniculatus*] // Теоретическая и прикладная экология. 2019. №1. С. 94-101. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-094-101

Домрачева Л. И., Ковина А. Л., Кондакова Л. В., Ашихмина Т. Я. Цианобактериальные симбиозы и возможность их практического использования (обзор) [Cyanobacterial symbioses and the possibility of their practical use (review)] // Теоретическая и прикладная экология. 2021. № 3. С. 21-30. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-021-030

Дымова О. В., Головкин Т. К. Фотосинтетические пигменты: функционирование, экология, биологическая активность [Photosynthetic pigments: functioning, ecology, biological activity] // Известия Уфимского научного центра РАН. 2018. № 3 (4). С. 5-16. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-4-3-5-16

Зыкова Ю. Н. Свойства цианобактерий как объектов биотехнологии [Properties of cyanobacteria as objects of biotechnology] // Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи. Лесниково, 2016. С. 10-14.

Коваль Е. В., Огородникова С. Ю. Влияние цианобактерии *Nostoc linckia* на показатели жизнедеятельности растений ячменя, выращенных в модельных опытах в присутствии метилфосфоновой кислоты [Effect of the cyanobacterium *Nostoc linckia* on the vital activity of barley plants grown in model experiments in the presence of methylphosphonic acid] // Агрехимия. 2014. № 12. С. 65-70.

Козылбаева Д. В., Домрачева Л. И., Трефилова Л. В., Ковина А. Л., Изотова В. А., Малинина А. И., Товстик Е. В., Грипась М. Н. Последствия предпосевной микробной инокуляции семян лядвенца рогатого на численность аборигенной микрофлоры почвы [The consequences of pre-sowing microbial inoculation of the seeds of the hornworm on the number of native microflora of the soil] // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 1. Киров: ВятГУ, 2018. С. 226-230.

Козылбаева Д. В., Домрачева Л. И., Трефилова Л. В., Ковина А. Л., Короткова А. В., Малинина А. И., Вахрушева Н. Э. Активизация аборигенной микрофлоры под влиянием бактериализации семян георгина [Activation of native microflora under the influence of bacterization of dahlia seeds] // Комплексный подход к научно-техническому обеспечению сельского хозяйства: Материалы Международной научно-практической конференции (Международные Бочкаревские чтения), посвященной памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР, академика МАЭП и РАВН Бочкарева Я. В., 6-9 декабря 2018 года. Рязань: Изд-во Рязанского гос. агротехнол. ун-та, 2019. С. 323-329.

Куренкова С. В. Пигментная система культурных растений в условиях подзоны средней тайги европейского Северо-Востока [Pigment system of cultivated plants in the middle taiga subzone of the European Northeast]. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 114 с.

Кшникаткина А. Н., Семенчев А. В. Урожайность семян клевера паннонского (*Trifolium pannonicum* Jacq) при различных режимах питания [Seed yield of Pannonian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq) under different nutrition regimes] // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 2 (22). С. 21-24.

Ладыгин В. Г., Ширшикова Г. Н. Современные представления о функциональной роли каротиноидов в хлоропластах эукариот [Current concepts of the functional role of carotenoids in eukaryotic chloroplasts] //

Зыкова Ю. Н., Огородникова С. Ю., Трефилова Л. В. Влияние предпосевной обработки семян микробными препаратами на всхожесть семян и накопление фотосинтетических пигментов в листьях *Trifolium pannonicum* // Принципы экологии. 2023. Т. 13. № 2. С. 3-2.

Журнал общей биологии. 2006. Т. 67, № 3. С. 163-189.

Лобанов А. Н., Полюдова Т. В. Продукция экзополисахаридов бактериями *Rhizobium leguminosarum* при периодическом культивировании [Production of exopolysaccharides by bacteria *Rhizobium leguminosarum* with intermitten cultivation] // Биомика. 2020. Т. 12, № 2. С. 224-231.

Маслова Т. Г., Попова И. А., Попова О. Ф. Критическая оценка спектрофотометрического метода количественного определения каротиноидов [Critical evaluation of the spectrophotometric method for the quantitative determination of carotenoids] // Физиология растений. 1986. Т. 39, № 6. С. 615-619.

Нечаева Т. В., Якутина О. П., Боголюбова Е. В. Клевер паннонский (*Trifolium pannonicum* Jacq.) – перспективная кормовая культура и фитомелиорант (литературный обзор) [Pannonian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq.) – a promising fodder crop and phytomeliiorant (literature review)] // Почвы и окружающая среда. 2020. Т. 3, № 1. е115. DOI: 10.31251/pos.v3i1.115

Попова Е. В., Арзамасова Е. Г., Шихова И. В. Качество семян клевера паннонского (*Trifolium pannonicum* Jacq.) сорта Снежок [Seed quality of Pannonian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq.) cultivar Snezhok] // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23, № 5. С. 675-684. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.675-684

Проворов Н. А., Тихонович И. А., Воробьев Н. И. Симбиоз и симбиогенез [Symbiosis and symbiogenesis]. СПб.: Информ-Навигатор, 2018. 464 с.

Сиренко Л. А., Козицкая В. Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды [Biologically active substances of algae and water quality]. Киев: Наукова думка, 1988. 256 с.

Стариков П. А., Домрачева Л. И., Скугорева С. Г. Сравнительная оценка питательных сред для культивирования микромицетов рода *Trichoderma* [Comparative evaluation of nutrient media for the cultivation of micromycetes of the genus *Trichoderma*] // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 44-49. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-044-049

Товстик Е. В., Козылбаева Д. В., Домрачева Л. И., Трефилова Л. В., Ковина А. Л., Малыгина О. Н., Шабалина А. В. Оценка действия цианобактерий и стрептомицетов на ризозферную микрофлору *Georgine wild* [Evaluation of the effect of cyanobacteria and streptomycetes on the rhizosphere microflora of *Georgine wild*] // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: Материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Книга 2. Киров: ВятГУ, 2017. С. 97-100.

Фокина А. И., Домрачева Л. И., Огородникова С. Ю. Влияние цианобактерии *Nostoc paludosum* и ее экзометаболитов на рост ячменя [Influence of cyanobacterium *Nostoc paludosum* and its exometabolites on barley growth] // Принципы экологии. 2019. № 3. С. 133-143. DOI: 10.15393/j1.art.2019.9182

Фокина А. И., Лялина Е. И., Трефилова Л. В., Ашихмина Т. Я. Отклик почвенной цианобактерии *Nostoc paludosum* на действие сульфата меди (II) в присутствии глутатиона восстановленного [The response of soil cyanobacteria *Nostoc paludosum* to the effect of copper(II) sulfate in the presence of the restored glutathione] // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 3. С. 101-108. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-101-108

Храмова Е. П., Боголюбова Е. В., Кукушкина Т. А., Шалдаева Т. М., Зверева Г. К. Фитохимическая характеристика и антиоксидантные свойства *Trifolium pannonicum* Jacq. сорта Премьер в лесостепи Западной Сибири [Phytochemical characterization and antioxidant properties of *Trifolium pannonicum* Jacq. varieties Premier in the forest-steppe of Western Siberia] // Химия растительного сырья. 2020. № 2. С. 149-158. DOI: 10.14258/jcprm.2020026023

Шлык А. А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев [Determination of chlorophylls and carotenoids in green leaf extracts] // Биохимические методы в физиологии растений. М.:

Зыкова Ю. Н., Огородникова С. Ю., Трефилова Л. В. Влияние предпосевной обработки семян микробными препаратами на всхожесть семян и накопление фотосинтетических пигментов в листьях *Trifolium rannonicum* // Принципы экологии. 2023. Т. 13. № 2. С. 3-2.

Наука, 1971. С. 154-171.

Banker R., Carmeli S. Tenuocyclamides A-D, cyclic hexapeptides from the cyanobacterium *Nostoc spongiaeforme* var. *tenue* // Journal of Natural Products. 1998. Vol. 61. Issue 10. P. 1248-1251.

Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes // Methods in Enzymology. Vol. 148. P. 350-382.

Pavlova A. I. Analysis of elevation interpolation methods for creating digital elevation models // Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing. 2017. Vol. 53, No 2. P. 171-177. DOI: 10.3103/S8756699017020108

Photosynthetic pigments - chemical structure, biological function and ecology / Eds. T. K. Golovko, W. I. Gruszeski, M. N. V. Prasad, K. Strzalka. Syktyvkar, 2014. 448 p.

Rezanka T., Dembitsky V. M. Metabolites produced by cyanobacteria belonging to several species of the family Nostocaceae // Folia Microbiol. 2006. Vol. 51. P. 159-182.

Swain S. S., Paidasetty S. K., Padhy N. R. Antibacterial, antifungal and antimycobacterial compounds from cyanobacteria // Biomedicine & Pharmacotherapy. 2017. Vol. 90. P. 760-776. DOI: 10.1016 / j. biopha.2017.04.030

Woo S. L., Ruocco M., Vinale F., Nigro M., Marra R., Lombardi N., Pascale A., Lanzuise S., Manganiello G., Lorito M. Trichoderma-based products and their widespread use in agriculture // The Open Mycology Journal. 2014. Vol. 8, No 18. P. 71-126.

Благодарности

Работа выполнена в рамках научной тематики лаборатории микробиотехнологии и биомониторинга сельскохозяйственных и техногенных территорий ФГБОУ ВО Вятского ГАТУ.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН по теме «Структура и состояние компонентов техногенных экосистем подзоны южной тайги».

Effect of presowing seed treatment with microbial preparations on seed germination and accumulation of photosynthetic pigments in *Trifolium pannonicum* leaves

ZYKOVA
Yulia

Ph.D., assistant professor, Vyatka State Agrotechnological University, orewek7@rambler.ru

OGORODNIKOVA
Svetlana

Ph.D., senior research officer, Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, svetao_05@mail.ru

TREFILOVA
Lyudmila

Ph.D., assistant professor, Vyatka State Agrotechnological University, nm-flora@rambler.ru

Keywords:

chlorophylls
carotenoids
Pannonian clover
field germination
Rhizobium trifolii
Fischerella muscicola
Trichoderma sp

Summary:

The influence of pre-sowing seed treatment with one-, two- and three-component microbial preparations containing *Rhizobium trifolii*, *Fischerella muscicola*, *Trichoderma* sp., on the field germination of seeds, the accumulation of photosynthetic pigments in leaves and the yield of Pannonian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq.) of the first year of vegetation was studied. The greatest stimulating effect on seed germination was exerted by microbial suspensions containing *Rh. trifolia*. When seeds are treated with microbial suspensions containing *Rh. trifolii* (*Rh. trifolii*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp.), a more powerful photosynthetic apparatus with a high content of chlorophylls and carotenoids was formed. Seed inoculation with one- and two-component biological products containing *Trichoderma* sp. caused a decrease in the level of chlorophyll in clover leaves. Microbial suspensions containing *F. muscicola* (*F. muscicola* and *Rh. trifolii* + *F. muscicola*) had no effect on the pool of green pigments in clover leaves. A strong positive correlation ($r = 0.72$) between the accumulation of biomass by clover plants and the content of chlorophylls in leaves was revealed. The three-component biopreparation containing *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp. Microbial suspensions of *Rh. trifolia*, *Rh. trifolii* + *Trichoderma* sp., *Rh. trifolii* + *F. muscicola* + *Trichoderma* sp. showed their effectiveness on Pannonian clover plants and can be used for the production of biological products that increase the productivity of agrocenoses.

References

- Andreyuk E. I. Kopteva Zh. P. Zanina V. A. Cyanobacteria. Kiev: Naukova dumka, 1990. 200 p.
- Banker R., Carmeli S. Tenuocyclamides A-D, cyclic hexapeptides from the cyanobacterium *Nostoc spongiaeforme* var. *tenue*, *Journal of Natural Products*. 1998. Vol. 61. Issue 10. P. 1248–1251.
- Domracheva L. I. Kondakova L. V. Popov L. B. Zykova Yu. N. Bioremediation potential of soil cyanobacteria (review), *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2009. No. 1. P. 8–17. DOI: 10.25750/1995-4301-2009-1-008-017
- Domracheva L. I. Kovina A. L. Kondakova L. V. Ashihmina T. Ya. Cyanobacterial symbioses and the possibility of their practical use (review), *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2021. No. 3. P. 21–30. DOI: 10.25750/1995-4301-2021-3-021-030

- Zykova Y., Ogorodnikova S., Trefilova L. Effect of presowing seed treatment with microbial preparations on seed germination and accumulation of photosynthetic pigments in *Trifolium pannonicum* leaves // *Principy èkologii*. 2023. Vol. 13. № 2. P. 3–2.
- Domracheva L. I. Kozylbaeva D. V. Kovina A. L. Trefilova L. V. Zykova Yu. N. Gripas' M. N. Izotova V. A. Optimization of the microbiological composition of the biological product in the cultivation of *Lotus corniculatus*, *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2019. No.1. P. 94–101. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-094-101
- Domracheva L.I. Soil "blooming" and patterns of its development. *Syktyvkar*, 2005. 336 p.
- Dymova O. V. Golovko T. K. Photosynthetic pigments: functioning, ecology, biological activity, *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo centra RAN*. 2018. No. 3 (4). P. 5–16. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-4-3-5-16
- Fokina A. I. Domracheva L. I. Ogorodnikova S. Yu. Influence of cyanobacterium *Nostoc paludosum* and its exometabolites on barley growth, *Principy ekologii*. 2019. No. 3. P. 133–143. DOI: 10.15393/j1.art.2019.9182
- Fokina A. I. Lyalina E. I. Trefilova L. V. Ashihmina T. Ya. The response of soil cyanobacteria *Nostoc paludosum* to the effect of copper(II) sulfate in the presence of the restored glutathione, *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2019. No. 3. P. 101–108. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-3-101-108
- Hramova E. P. Bogolyubova E. V. Kukushkina T. A. Shaldaeva T. M. Zvereva G. K. Phytochemical characterization and antioxidant properties of *Trifolium pannonicum* Jacq. varieties Premier in the forest-steppe of Western Siberia, *Himiya rastitel'nogo syr'ya*. 2020. No. 2. P. 149–158. DOI: 10.14258/jcprm.2020026023
- Koval' E. V. Ogorodnikova S. Yu. Effect of the cyanobacterium *Nostoc linckia* on the vital activity of barley plants grown in model experiments in the presence of methylphosphonic acid, *Agrohimiya*. 2014. No. 12. P. 65–70.
- Kozylbaeva D. V. Domracheva L. I. Trefilova L. V. Kovina A. L. Izotova V. A. Malinina A. I. Tovstik E. V. Gripas' M. N. The consequences of pre-sowing microbial inoculation of the seeds of the hornworm on the number of native microflora of the soil, *Biodiagnostika sostoyaniya prirodnyh i prirodno-tehnogennyh sistem: Materialy XVI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Kniga 1. Kirov: VyatGU*, 2018. P. 226–230.
- Kozylbaeva D. V. Domracheva L. I. Trefilova L. V. Kovina A. L. Korotkova A. V. Malinina A. I. Vahrusheva N. E. Activation of native microflora under the influence of bacterization of dahlia seeds, *Kompleksnyy podhod k nauchno-tehnicheskomu obespecheniyu sel'skogo hozyaystva: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii (Mezhdunarodnye Bochkarevskie chteniya), posvyaschennoy pamyati chlena-korrespondenta RASHN i NANKR, akademika MAEP i RAVN Bochkareva Ya. V., 6–9 dekabrya 2018 goda. Ryazan': Izd-vo Ryazanskogo gop. agrotehnol. un-ta*, 2019. P. 323–329.
- Kshnikatkina A. N. Semenchev A. V. Seed yield of Pannonian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq) under different nutrition regimes, *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skohozyaystvennoy akademii*. 2013. No. 2 (22). P. 21–24.
- Kurenkova S. V. Pigment system of cultivated plants in the middle taiga subzone of the European Northeast. *Ekaterinburg: UrO RAN*, 1998. 114 p.
- Ladygin V. G. Shirshikova G. N. Current concepts of the functional role of carotenoids in eukaryotic chloroplasts, *Zhurnal obschey biologii*. 2006. T. 67, No. 3. P. 163–189.
- Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes, *Methods in Enzymology*. Vol. 148. P. 350–382.
- Lobanov A. N. Polyudova T. V. Production of exopolysaccharides by bacteria *Rhizobium leguminosarum* with intermitten cultivation, *Biomika*. 2020. T. 12, No. 2. P. 224–231.
- Maslova T. G. Popova I. A. Popova O. F. Critical evaluation of the spectrophotometric method for the quantitative determination of carotenoids, *Fiziologiya rasteniy*. 1986. T. 39, No. 6. P. 615–619.
- Nechaeva T. V. Yakutina O. P. Bogolyubova E. V. Pannonian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq.) – a promising

Zykova Y., Ogorodnikova S., Trefilova L. Effect of presowing seed treatment with microbial preparations on seed germination and accumulation of photosynthetic pigments in *Trifolium pannonicum* leaves // *Principy èkologii*. 2023. Vol. 13. № 2. P. 3–2.

fodder crop and phytomeliorant (literature review), *Pochvy i okruzhayuschaya sreda*. 2020. T. 3, No. 1. e115. DOI: 10.31251/pos.v3i1.115

Pavlova A. I. Analysis of elevation interpolation methods for creating digital elevation models, *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 2017. Vol. 53, No 2. P. 171–177. DOI: 10.3103/S8756699017020108

Photosynthetic pigments – chemical structure, biological function and ecology, Eds. T. K. Golovko, W. I. Gruszeski, M. N. V. Prasad, K. Strzalka. *Syktyvkar*, 2014. 448 p.

Popova E. V. Arzamasova E. G. Shihova I. V. Seed quality of Pannonian clover (*Trifolium pannonicum* Jacq.) cultivar *Snezhok*, *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2022. T. 23, No. 5. P. 675–684. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.5.675-684

Provorov N. A. Tihonovich I. A. Vorob'ev N. I. *Symbiosis and symbiogenesis*. SPb.: Inform-Navigator, 2018. 464 p.

Rezanka T., Dembitsky V. M. Metabolites produced by cyanobacteria belonging to several species of the family *Nostocaceae*, *Folia Microbiol.* 2006. Vol. 51. P. 159–182.

Shlyk A. A. Determination of chlorophylls and carotenoids in green leaf extracts, *Biohimicheskie metody v fiziologii rasteniy*. M.: Nauka, 1971. C. 154–171.

Sirenko L. A. Kozickaya V. N. *Biologically active substances of algae and water quality*. Kiev: Naukova dumka, 1988. 256 p.

Starikov P. A. Domracheva L. I. Skugoreva S. G. Comparative evaluation of nutrient media for the cultivation of micromycetes of the genus *Trichoderma*, *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2022. No. 1. P. 44–49. DOI: 10.25750/1995-4301-2022-1-044-049

Swain S. S., Paidasetty S. K., Padhy N. R. Antibacterial, antifungal and antimycobacterial compounds from cyanobacteria, *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2017. Vol. 90. P. 760–776. DOI: 10.1016, j. biopha.2017.04.030

Tovstik E. V. Kozylbaeva D. V. Domracheva L. I. Trefilova L. V. Kovina A. L. Malygina O. N. Shabalina A. V. Evaluation of the effect of cyanobacteria and streptomyces on the rhizosphere microflora of Georgine wild, *Biodiagnostika sostoyaniya prirodnyh i prirodno-tehnogennyh sistem: Materialy HV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Kniga 2*. Kirov: VyatGU, 2017. P. 97–100.

Woo S. L., Ruocco M., Vinale F., Nigro M., Marra R., Lombardi N., Pascale A., Lanzuise S., Manganiello G., Lorito M. *Trichoderma*-based products and their widespread use in agriculture, *The Open Mycology Journal*. 2014. Vol. 8, No 18. P. 71–126.

Zykova Yu. N. Properties of cyanobacteria as objects of biotechnology, *Razvitie nauchnoy, tvorcheskoy i innovacionnoy deyatel'nosti molodezhi*. Lesnikovo, 2016. P. 10–14.