

Влияние инокулянта «Ресойлер» на взаимоотношения основных эколого-трофических групп микроорганизмов в посевах озимой ржи

И.И. КОНЦЕВАЯ, Н.М. ДАЙНЕКО, С.Ф. ТИМОФЕЕВ, Т.А. МЕДВЕДСКАЯ

В полевом опыте получены доказательства эффективности применения на стадии «выход в трубку» в посевах озимой ржи инокулянта «Ресойлер» на исследуемый микробиоценоз дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Данные указывают, что обработка микробиологическим инокулянтом при недостатке почвенной влаги в анализируемые летние месяцы способствует поддержанию стабильности изучаемого агробиоценоза.

Ключевые слова: почвенные ассоциации микроорганизмов, эколого-трофические группы микроорганизмов, микробиологический инокулянт, Ресойлер, *Trichoderma*.

In a field experiment, the evidence of the effectiveness of application of the «Resoiler» inoculant on the studied microbiocenosis of sod-podzolic light loamy soil at the stage of «emergence into the tube» in winter rye crops was obtained. The data indicate that treatment with microbial inoculant at soil moisture deficit in the analyzed summer months contributes to maintaining the stability of the studied agrobiocenosis.

Keywords: associations of soil microorganisms, ecological and trophic groups of microorganisms, microbiological inoculant, Resoiler, *Trichoderma*.

Введение. Тестируемый в исследовании микробиологический инокулянт «Ресойлер» разработан Республиканским научным дочерним унитарным предприятием «Институт защиты растений» [1]. Концентрация действующего вещества составляет: *Trichoderma* sp. L-3, КОЕ не менее 5,4 млрд./мл; *Trichoderma* sp. L-6, КОЕ не менее 5,9 млрд./мл; содержание биомассы – не менее 20 г/л [1]. По сведениям разработчиков, полифункциональный механизм действия препарата «Ресойлер» обеспечивает интенсификацию разложения растительных остатков, снижение количества токсинообразующих и фитопатогенных микроорганизмов на растительных остатках и в почве, стимуляцию роста и развития культур; повышает доступность элементов питания для растений [1]–[4], способствуя увеличению их продуктивности на 10–15 % [4]. Установлено, что препараты на основе данных грибов-антагонистов оказывают содействие поддержанию стабильности агробиоценозов [3]. «Ресойлер» может применяться как перед посевом, так и после уборки культуры [1].

Сорта озимой ржи белорусской селекции занимают 97,2 % площадей, отводимых под рожь в республике [5]. Приоритетным направлением в селекции зерновых культур, помимо высокого качества продукции, является в том числе сочетание высокой отзывчивости на плодородие почвы и устойчивости к лимитирующим факторам среды, что обеспечивает эффективное использование финансовых ресурсов, энергосбережение, экологическую безопасность и повышает рентабельность производства [5], [6].

Цель работы – изучение влияния инокулянта «Ресойлер» на особенности взаимоотношений между почвенными микроорганизмами разных экологических ниш в посевах озимой ржи, культивируемой на почве Гомельского региона республики.

Методы исследования. Исследования проводили в вегетационный период 2022 г. на почвах агрокомбината «Южный» (н. п. Костюковка Гомельского района Гомельской области). В качестве объекта исследований изучали биологическую активность агрономически полезных групп микроорганизмов при обработке инокулянтом «Ресойлер» посевов озимой ржи сорта «Голубка».

Почва имела следующие агрохимические параметры: рН в КСl – 5,9; фосфор – 281 мг/кг; калий – 262 мг/кг. Площадь отдельных опытных делянок была равна 5 м², размещение рендомизировано; повторность опытов – 4-х кратная. Используемая норма расхода микробиологического инокулянта «Ресойлер» составляла 5–10 л/га.

Опыт заложен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на посевах озимой ржи по схеме:

1) контроль – без обработки посевов микробным инокулянтом «Ресойлер»;

2) обработка посевов микробным инокулянтом «Ресойлер». Выполняли прикорневую подкормку растений по всходам в фазе «выход в трубку» (в мае).

Микробиологическое исследование почвы выполняли в соответствии с общепринятыми в почвенной микробиологии методами [7]. Отбор почвенных образцов проводили по следующим фазам роста и развития озимой ржи: фаза «выход в трубку», фаза «колошения», фаза «созревания (восковая спелость)».

В опыте представлены следующие варианты:

– к (контроль) – отбор почвы выполняли на стадии «выход в трубку» ржи (май), почва без обработки посевов инокулянтом «Ресойлер»;

– к1 (контроль 1) – отбор почвы осуществляли на стадии «колошения» ржи (июнь), почва без обработки посевов инокулянтом «Ресойлер»;

– о1 (опыт 1) – почву отбирали на стадии «колошения» ржи (июнь), обработка посевов инокулянтом «Ресойлер»;

– к2 (контроль 2) – отбор почвы проводили на стадии «созревания» ржи (июль), почва без обработки посевов инокулянтом «Ресойлер»;

– о2 (опыт 2) – отбор почвы выполняли на стадии «созревания» ржи (июль), обработка посевов инокулянтом «Ресойлер».

При оценке действия инокулянта «Ресойлер» на микробонаселение почвы применяли чашечный метод Коха. С его помощью вычисляли численность представителей почвенных микроорганизмов основных экологических ниш, культивированных на селективных питательных средах. Все посева выполняли в трехкратной повторности.

Численность микроорганизмов устанавливали в колониеобразующих единицах (КОЕ) при пересчете на 1 г абсолютно сухой почвы. Расчет эколого-физиологических индексов и коэффициентов выполняли согласно рекомендациям научно-методического пособия [8].

Полученные в эксперименте данные подвергали статистической обработке с применением пакета прикладного программного обеспечения «Statsoft (USA) Statistica v.7.0». Сравнение изучаемых показателей между опытными и контрольными группами выполняли с применением t-критерия Стьюдента. Нулевую гипотезу отклоняли при уровне статистической значимости $P < 0,05$ [9]. Данные в таблице приведены в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое, m – ошибка среднего арифметического.

Результаты исследования и их обсуждение. Метеорологические условия за три месяца вегетационного периода 2022 г., когда производили отбор почвы, представлены в таблице 1. Согласно исходным данным метеорологических наблюдений, был рассчитан гидротермический коэффициент (ГТК) по Г.Т. Селянинову [10], который используют при работе со злаковыми культурами и в настоящее время [11]. В упомянутых работах приведена классификация зон увлажнения по ГТК [10], [11].

Таблица 1 – Метеорологические условия по данным Гомельского областного центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2022 г. [12], [13]

Месяц	Среднемесячное количество			Средне многолетнее количество	
	температур, °С	осадков, мм	ГТК, 2022 г.	температур, °С	осадков, мм
май	12,0	56,9	1,6	13,9	55,0
июнь	20,6	52,0	0,8	17,0	79,0
июль	19,3	76,7	1,3	19,8	90,0
среднее	17,3		1,0	16,9	
сумма осадков, мм		185,6			224,0

Гидротермический коэффициент увлажнения за анализируемые вегетационные месяцы в среднем составил 1,0. Такое значение интерпретируется как слабо засушливый период (таблица 1), и что для роста и развития озимой ржи, как относительно засухоустойчивой культуры, допустимо [6].

Приведенные в таблице 1 данные показывают, что погодные условия в период май-июль 2022 г. можно охарактеризовать как слабо засушливые: средняя температура за вегетационный период была на 0,4 градуса по Цельсию выше среднее многолетнее значение, а количество вы-

павших осадков – меньше на 38,4 мм. Условия увлажнения по гидротермическому коэффициенту относятся, соответственно, к неустойчивому, с тенденцией к недостаточному. Необходимо подчеркнуть неравномерность выпадения осадков по месяцам, особенно во время ключевых фаз роста озимой ржи. Недостаток почвенной влаги в анализируемые летние месяцы также мог отрицательно воздействовать на рост и развитие микроорганизмов почвы [6], [10].

Охарактеризуем микробонаселение почвы и контролируемые микроорганизмами процессы превращения органического вещества (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние инокулянта «Ресойлер» на численность микроорганизмов основных экологических ниш в посевах озимой ржи, КОЕ/г абс.сух. почвы $\times 10^6$

Группа микроорганизмов	к	к1	о1	к2	о2
зимогенная экологическая ниша					
аммонифицирующие	70,9 ± 6,2	105,5 ± 9,2	65,0 ± 6,0*	31,1 ± 3,0	30,2 ± 3,0
споровые аммонификаторы	4,5 ± 0,3	5,5 ± 0,4	6,0 ± 0,5	2,5 ± 0,4	1,9 ± 0,3
амилолитические	103,5 ± 10,1	65,0 ± 6,2	124,9 ± 11,0*	44,6 ± 4,2	38,5 ± 3,2
целлюлозоразрушающие аэробные	84,5 ± 7,4	102,5 ± 9,4	69,4 ± 7,2*	56,0 ± 5,2	67,3 ± 6,2
олиготрофная экологическая ниша					
фосфатмобилизующие бактерии	0,5 ± 0,04	3,8 ± 0,4	0,7 ± 0,06*	3,6 ± 0,4	2,9 ± 0,3
олигонитрофильные	70,0 ± 6,2	49,9 ± 5,2	74,5 ± 8,1*	73,6 ± 7,0	42,5 ± 4,2*
олигокарбофильные	122,3 ± 11,2	113,0 ± 10,1	127,7 ± 12,5	64,4 ± 7,0	64,5 ± 7,1
автохтонная экологическая ниша					
автохтонные. Олиготрофы	77,3 ± 7,9	91,5 ± 10,0	47,0 ± 5,1*	37,6 ± 4,0	62,1 ± 6,9*
миксотрофно-синтетическая экологическая ниша					
микровицеты	0,00001 ± 0,0000001	0,0012 ± 0,0001	0,001 ± 0,0001	0,04 ± 0,005	0,01 ± 0,002*

Примечание: *статистически достоверно при $p < 0,05$ по сравнению с необработанным контролем.

В образцах необработанной почвы, отобранной для анализа в июне, отмечали существенное повышение численности в 1,5 раза аммонификаторов и в 1,2 раза целлюлозолитической аэробной микрофлоры по сравнению со значениями начального контроля. Данные показывают, что в первом летнем месяце активизируются процессы разложения азотсодержащего и безазотистого (группа полисахаридов, целлюлоза) органического вещества почвы [8] по сравнению с образцами почвы, отобранными в мае. В тоже время отмечали снижение интенсивности разложения безазотистого органического вещества почвы из группы олигосахаридов и крахмала по причине значительного снижения количества микроорганизмов амилолитической микрофлоры в июне. В почве, отобранной в июле, наоборот, наблюдали существенное снижение значений численности для всех представителей зимогенной экологической ниши при сравнении с данными за май и июнь. Полученные показатели свидетельствуют о снижении процессов разложения свежей органической биомассы, что можно объяснить уменьшением количества микроорганизмов в почве.

Спустя один месяц после обработки инокулянта «Ресойлер» по сравнению с соответствующим контрольным значением отмечали существенное снижение численности аммонифицирующих и целлюлозолитических аэробных бактерий (таблица 2). В тоже время для представителей амилолитической группы выявлено существенное увеличение численности. Полученные данные указывают, что инокулянт «Ресойлер» через один месяц после применения (в июне) индуцирует снижение процессов разложения азотсодержащего и безазотистого из группы полисахаридов и целлюлозы органического вещества почвы по сравнению с соответствующим контролем. В июле не отмечено различий по формированию промежуточного органического вещества между значениями опытного и контрольного вариантов по всем анализируемым группам микроорганизмов из зимогенной экологической ниши.

Олиготрофная микробная ниша участвует в биохимическом упрощении остатков промежуточного органического вещества почвы, что содействует его подготовке к процессу гумификации [8]. По отношению к образцам необработанной почвы отмечено следующее. Если для фосфатлитических микроорганизмов наблюдали в анализируемые летние месяцы по-

ложительную динамику в повышении численности по сравнению с данными за май, то для олигокарбофильной микрофлоры отмечали уменьшение численности. Сказанное свидетельствует о снижении скорости процессов глубокой минерализации органического вещества почвы и замедлении начала его гумификации.

Для олигонитрофильной микрофлоры установлено в июне подавление процессов деструкции азотистых компонентов гуминовых и фульвокислот гумуса, снижение в почве несимбиотической азотфиксации, а в июле, наоборот, эти процессы возросли.

В опытных образцах почвы инокулянт «Ресойлер» оказал существенное влияние на численность представителей фосфатлитических и олигонитрофильных групп. В июне значительно снижено число фосфатлитических бактерий в 5,3 раза, в июле количество данных бактерий возрастает в 5,0 раз, показывая сопоставимые результаты при сравнении со значениями соответствующего контроля.

По отношению к олигонитрофильной микрофлоре отмечено в июне достоверное увеличение в 1,5 раза численности бактерий по сравнению с контрольным значением. В июле картина меняется на обратную, что указывает на возрастание процессов деструкции азотистых компонентов гуминовых и фульвокислот гумуса и усиления процессов несимбиотической азотфиксации в почве.

Не установлено влияния тестируемого микробного инокулянта на изменение скорости процессов глубокой минерализации органического вещества почвы и начала его гумификации. В мае и июне данные процессы проходили интенсивно и в необработанной и в обработанной (опыт) почве. В июле же и в контрольном, и в опытном вариантах отмечено существенное снижение значения КОЕ/г, что свидетельствует об ослаблении процессов глубокой минерализации специфического органического вещества почвы.

При рассмотрении функционирования автохтонной микробной ниши, которая, используя специфическое органическое вещество, участвует в разложении, трансформации и продуцировании гумусовых веществ почвы, наблюдали в образцах необработанной почвы в динамике сначала возрастание интенсивности реакций поликонденсации и полимеризации в июне, а затем значительное снижение в июле.

Установлено, что инокулянт «Ресойлер» в июне инициирует подавление процессов, которые контролируют представители автохтонной микрофлоры, а в июле, наоборот, усиливает их.

В отношении деятельности представителей миксотрофно-синтетической экологической ниши следует отметить, что в июне процессы трансформации всевозможных компонентов органического вещества почвы и продуцирование пигментов гуминоподобного типа существенно возрастают (более чем в 100 раз) и в необработанной и в обработанной «Ресойлером» почве по сравнению с данными за май. В июле, когда наблюдали еще более значительное возрастание численности представителей микромицетов в контрольном варианте (более чем в 4000 раз при сравнении с данными начального контроля), в опытном варианте значение все же было ниже (таблица 2).

При изучении почвенной микробиоты в сельскохозяйственном земледелии, кроме установления численности основных групп микробоценоза, очень важно рассчитать эколого-физиологические индексы и коэффициенты, что позволяет установить особенности взаимоотношений между представителями микроорганизмов основных экологических ниш, которые принимают участие в многоступенчатом процессе разложения и преобразования органического вещества почвы [8].

Коэффициент минерализации и иммобилизации Мишустина указывает на степень интенсивности разложения легкодоступного вещества и активизации начальной стадии процесса гумусообразования. В контрольных вариантах в июне наблюдали снижение коэффициента в 2,3 раза, в июле – восстановление до значения начального контроля, равное 1,5 (рисунок 1). Полученные данные свидетельствуют о том, что в июне существенно возросли минерализационные процессы, в то время как в мае и июле отмечали иммобилизационные процессы. Как известно, минерализация увеличивает биодоступность питательных веществ, которые входили в состав разлагающихся органических соединений, в первую очередь из-за их количества [8], [9].

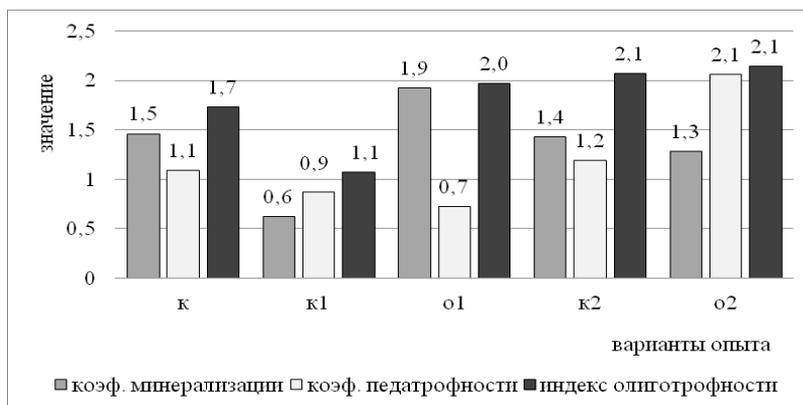


Рисунок 1 – Влияние инокулянта «Ресойлер» на эколого-трофические индексы и коэффициенты

Анализ влияния инокулянта «Ресойлер» показал, что в июне инокулянт инициирует усиление иммобилизационных процессов, в то время как в почве контрольного варианта преобладали процессы минерализации. В июле не установлено воздействия инокулянта на изменение процессов преобразования неорганических соединений в органические по сравнению со значением контрольного варианта. Полученные значения коэффициента, соответственно 1,3 и 1,4 (рисунок 1), свидетельствуют об отсутствии различий в образцах необработанной и обработанной инокулянт почвах, в которых преобладают процессы иммобилизации и происходит интенсивное использование азота почвы микроорганизмами с включением в биомассу бактерий. Поскольку в опытных вариантах при сравнении со значениями в контроле отмечено значимое снижение численности аммонификаторов, либо значения сопоставимы, то данные процессы происходят за счет развития амилитической части микробиоценоза почвы (таблица 2). Их представители показывают активность в трансформации разного происхождения углеводов и связывании молекулярного азота.

Индекс (коэффициент) педотрофности Никитина позволяет оценить уровень развития микроорганизмов, которые входят в состав автохтонной экологической ниши, а также принимают участие в почвообразовании гумусовых веществ [8].

Для необработанной почвы, отобранной в посевах озимой ржи, на начальном этапе эксперимента отмечали значение коэффициента педотрофности равное 1,1 (рисунок 1). В июне установлено уменьшение значения коэффициента до 0,9, а в июле – небольшое повышение до 1,2 (рисунок 1). Такие результаты свидетельствуют, соответственно, сначала о снижении интенсивности формирования гумусовых веществ почвы, а в июле – наоборот, увеличении, тем самым указывая на повышение устойчивости тестируемого агробиогеоценоза к негативным внешним воздействиям.

В опытном варианте в июне более низкое значение коэффициента педотрофности по сравнению с соответствующим контрольным значением, соответственно, 0,7 и 0,9, характеризуется как замедление процессов разложения, трансформации и продуцирования гумусовых веществ почвы, за что отвечают представители автохтонной микрофлоры (таблица 2).

В тоже время в июле в опытном варианте значения коэффициента педотрофности возрастают в 1,7 раза по сравнению с контролем, достигая 2,1, что указывает на активизацию процессов гумусообразования на последних этапах преобразования почвы. В итоге обработка инокулянт «Ресойлер» повышает устойчивость биогеоценоза к негативным воздействиям со стороны антропогенных вмешательств.

Индекс олиготрофности Аристовской дает информацию об активности представителей автохтонной экологической ниши, которая объединяет олиготрофную часть микрофлоры почвы (таблица 2), принимающую участие в биохимических реакциях разложения остатков органической биомассы. В опыте установлено увеличение значения индекса олиготрофности Аристовской с 1,1 до 2,0 – в июне, и отсутствие каких-либо изменений – в июле. Эти данные свидетельствуют о том, что уже в первый летний месяц вегетации инокулянт «Ресойлер» инициирует замедление процессов деструкции органического вещества почвы промежуточной степени разложенности, тем самым замедляет его подготовку к процессу гумификации.

Таким образом, недостаточная влагообеспеченность почвы в первые два летних месяца вегетации (таблица 1) сказывается на уменьшении численности представителей большинства анализируемых эколого-трофических групп микроорганизмов (таблица 2). Отмечено, что в

образцах необработанной инокулянт почвой, отобранной в июне, численность микроорганизмов выше или сопоставимо со значениями, полученными в мае, по большинству представителей зимогенной, олиготрофной, автохтонной и миксотрофно-синтетической экологических ниш. В июле более высокая численность сохранялась только по фосфатлитическим аэробным бактериям и микромицетам. С другой стороны, инокулянт «Ресойлер» при этих же метеорологических условиях, инициируя уменьшение численности представителей микроорганизмов многих основных экологических ниш, оказывает содействие в регулировании их количественного и качественного состава, тем самым способствуя увеличению устойчивости исследуемого агробиогеоценоза к негативным воздействиям внешней среды (рисунок 1).

Заключение. На основании выполненного микробиологического исследования инокулянта «Ресойлер», используемого в качестве прикорневой подкормки растений по всходам в фазе «выход в трубку» (в мае) на посевах озимой ржи, культивируемой на почве Гомельского региона республики, установлено: полученные значения эколого-трофических коэффициентов и индексов указывают на то, что обработка биопрепаратом при недостатке почвенной влаги в анализируемые летние месяцы содействует поддержанию устойчивости исследуемого агробиоценоза, поскольку он приобретает более стабильное состояние в отношении негативных воздействий со стороны антропогенных факторов, и что сближает его с естественными ценозами изучаемой почвенно-климатической зоны по сравнению с соответствующими контрольными образцами.

Литература

1. Инокулянт микробиологический «Ресойлер», ж [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pesticidy.by/regulatory-rosta-rastenij/inokulyant-mikrobiologicheskij-resojler-zh/>. – Дата доступа : 12.02.2023.
2. Шарова, М. Б. Морфолого-цитологическое изучение гриба *Trichoderma* Fr. в связи с производством препарата «триходермин» : автореф. дис... канд. биол. наук : 03.00.05 / М. Б. Шарова. – М. : МГУ, 1983. – 15 с.
3. Войтка, Д. В. Стандартизация препарата на основе грибов-антагонистов рода *Trichoderma* / Д. В. Войтка // Микробные биотехнологии : фундаментальные и прикладные аспекты : XII Междунар. конф., Минск, 7–11 июня 2021 / Э. И. Коломиец (председатель) [и др.]. – Минск, 2021. – С. 120–121.
4. Эффективность применения биологических препаратов в агроценозе кормовых бобов в Беларуси / Ф. И. Привалов [и др.] // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series. – 2022. – Vol. 60, № 3. – P. 296–311.
5. Привалов, Ф. И. Достижения и проблемы селекции высокопродуктивных сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / Ф. И. Привалов, Э. П. Урбан // Весці Нацыянальнай Акадэміі Навук Беларусі. – 2016. – № 3. – С. 41–49.
6. Растениеводство : учебник для вузов / Г. С. Посыпанов [и др.]. – М. : Изд-во «НИЦ ИНФРА-М», 2022. – 612 с.
7. Практикум по микробиологии / А. И. Нетрусов [и др.]. – М. : Академия, 2005. – 604 с.
8. Титова, В. И. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества : науч. метод. пособ. / В. И. Титова, А. В. Козлов. – Н. Новгород : Нижегород с.-х. акад., 2012. – 192 с.
9. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта : с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – М. : Книга по Требованию, 2013. – 349 с.
10. Селянинов, Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата / Г. Т. Селянинов // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. – 1928. – Вып. 20. – С. 165–177.
11. Ионова, Е. В. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) / Е. В. Ионова, В. А. Лиховидова, И. А. Лобунская // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 6 (66). – С. 18–22.
12. Белгидромет [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://belgidromet.by/climatologu/view/klimatic>. – Дата доступа : 22.08.2023.
13. Погода в Гомеле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://weatherarchive.ru/PogodaGomel>. – Дата доступа : 22.08.2023.