

Влияние биопрепарата Грамисил в посевах озимого ячменя на агрономически ценные группы почвенных микроорганизмов

И.И. КОНЦЕВАЯ, Н.М. ДАЙНЕКО, С.Ф. ТИМОФЕЕВ, Д.В. ДАЙНЕКО

В полевом опыте на основании выполненного микробиологического исследования биопрепарата Грамисил, используемого в качестве прикорневой подкормки (в двух сроках: осенний и весенний) в посевах озимого ячменя, культивированного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, установлено: полученные значения эколого-трофических коэффициентов свидетельствуют, что направленность процессов превращения органической биомассы на всех стадиях ее преобразования не зависит от сроков внесения биопрепарата.

Ключевые слова: почвенные микроорганизмы, эколого-трофические группы микроорганизмов, биопрепарат Грамисил.

In the field experiment on the basis of microbiological study of Gramisil biopreparation used as a root dressing (in two periods: autumn and spring) in winter barley crops cultivated on sod-podzolic light loamy soil, it was established that the obtained values of the ecological-trophic coefficients indicate that the direction of transformation processes of organic biomass at all stages of its transformation does not depend on the timing of the biopreparation application.

Keywords: soil microorganisms, ecological-trophic groups of microorganisms, Gramisil biopreparation.

Введение. Препарат микробный Грамисил разработан институтом микробиологии НАН Беларуси. Основа препарата – азотфиксирующие и фосфатсольбилизующие эндофитные бактерии, обладающие взаимодополняющими агрономически ценными свойствами: азотфиксацией, фосфатсольбилизацией, способны синтезировать гетероауксин (ИУК) и продуцировать АЦК-деаминазу [1]. Его состав содержит общий титр жизнеспособных клеток не менее *Rahnella aquatilis* В-1916Д (азотфиксирующий штамм) – 1×10^9 клеток/мл; *Pseudomonas brassicacearum* БИМ И-1917Д (фосфатмобилизующий штамм) – 1×10^9 клеток/мл [2]. В начальных тестах на озимой пшенице разработчиками определена эффективность действия препарата Грамисил. Установлено, что он существенно увеличивает численность фосфатсольбилизующих и азотфиксирующих микроорганизмов в фазе колошения-цветения в среднем в 13 раз, высоту растений – на 25 %, сырой вес – в 2 раза, повышает стрессоустойчивость и урожайность в среднем на 33 % [1]. Другие сведения по изучению эффективности использования препарата Грамисил в литературе отсутствуют.

На сегодняшний день для получения здоровой почвы и, соответственно, конкурентно-способного урожая применяется альтернативный подход, называемый устойчивым сельским хозяйством. Это научное и производственное направление неопасно для окружающей среды и, самое важное, способствует длительному во времени поддержанию баланса в почвенной экосистеме. В связи с этим применение в сельском хозяйстве микробных препаратов, содержащих в своем составе микроорганизмы, например, растворяющие фосфаты, представляет собой по сравнению с использованием минеральных удобрений экологически безопасный метод [3], [4].

В обзорном исследовании [5] рассмотрены многочисленные экспериментальные работы, выполненные учеными разных стран мира на тему эффективного управления почвенными микробными сообществами с целью повышения плодородия почв. При этом подчеркнуто, что производители биопрепаратов заинтересованы в исследованиях по выявлению позитивного влияния от использования микробных препаратов на плодородие в агробиоценозах. Авторы ссылаются на ряд тестирований коммерческих микробных препаратов, которые указывают на отсутствие воздействия этих инокулянтов, например, на повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Объяснение такого результата, как указывают исследователи [5], состоит в том, что тестирование биопрепаратов чаще всего выполняется только в лабораториях либо в вегетационных экспериментах, без перехода к реальным полевым опытам.

Кроме того, практически не анализируется почвенный микробиом в нативном состоянии и при внесении микроорганизмов в составе биопрепаратов в конкретных полевых почвенных условиях. В связи с вышесказанным несомненна актуальность темы текущего исследования.

Цель работы – изучение влияния препарата микробного Грамисил на взаимоотношения между почвенными микроорганизмами основных эколого-трофических групп в полевых посевах ярового ячменя, культивированного на почве Гомельского региона республики.

Методы исследования. Исследования выполняли в осенне-весенний период 2023–2024 гг. на землях агрокомбината «Южный» вблизи н.п. Лопатино Гомельского района Гомельской области. Объектом исследований являлась биологическая активность агрономически ценных групп микроорганизмов при обработке микробным биопрепаратом Грамисил в посевах озимого ячменя сорта «Буслик».

Опыт был заложен на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве на посевах озимого ячменя сорта «Буслик»:

1) контроль (к) – без обработки посевов озимого ячменя биопрепаратом Грамисил;

2) обработка посевов озимого ячменя микробным биопрепаратом Грамисил (опыт (о)). В эксперименте изучали два срока внесения биопрепаратов: 1) в осенний период – в фазу начало кущения; 2) в весенний период – в фазу кущения; с нормой расхода биопрепарата, равной 3 л/га.

Агрохимическая характеристика почвы следующая: рН в KCl – 5,9; фосфор – 280 мг/кг; калий – 268 мг/кг. Площадь опытных делянок составляла 5 м², размещение рендомизировано: повторность опытов – 4-х кратная.

Микробиологическое исследование почвы определяли в соответствии с методами, принятыми в почвенной микробиологии [6]–[9]. Отбор почвенных образцов выполняли по следующим фазам роста и развития озимого ячменя: кущения, выход в трубку, созревания (восковая спелость). При анализе влияния микробного препарата Грамисил на микробоценоз культивируемой почвы использовали чашечный метод Коха [6], суть которого состоит в культивировании почвенных микроорганизмов на агаризованных селективных питательных средах для выявления представленности микроорганизмов основных эколого-трофических ниш [7]. Численность таких микроорганизмов определяли в колониеобразующих единицах (КОЕ) при пересчете на 1 г абсолютно сухой почвы. Влажность дерново-подзолистой почвы устанавливали термостатно-весовым методом в соответствии с ГОСТом [8]. Расчет эколого-физиологических индексов и коэффициентов осуществляли согласно рекомендациям научно-методического пособия [7].

Полученные в опыте первичные биологические данные обрабатывали статистически при применении программы Excel 2010. Сравнение анализируемых показателей между контрольными и опытными группами определяли с использованием t-критерия Стьюдента. Нулевую гипотезу при уровне статистической значимости $P < 0,05$ отвергали [10]. Данные в таблице приведены в виде $M \pm m$, где M – среднее арифметическое, m – ошибка среднего арифметического.

Результаты исследования и их обсуждение. Проанализируем метеоусловия в вегетационный период 2024 г. [11]. В апреле среднесуточная температура воздуха в первых двух декадах была выше нормы, в третьей декаде – чуть ниже нормы (на 1 °С), в среднем по месяцу – около 10 °С. На протяжении всех трех декад месяца отмечалось избыточное увлажнение, особенно в третьей декаде. Осадки выпадали в виде дождя. В мае наблюдали небольшие положительные отклонения температуры воздуха от нормы (на 0,7 °С). Очень теплой была третья декада с положительной аномалией равной 4,5 °С. На протяжении всех трех декад месяца установлен значительный дефицит осадков. В июне средняя температура воздуха всех трех декад была выше нормы. Количество осадков в среднем составило 97 мм или 139 % нормы. В июле среднесуточная температура воздуха первых двух декад месяца была выше нормы, третья декада по температурному режиму была близка к норме. Очень теплой выдалась вторая декада с положительной аномалией 4,2 °С. Среднемесячная среднесуточная температура колебалась от 19,6 до 23,0 °С. Количество осадков составило 82 мм или 84 % нормы.

Из вышесказанного следует отметить по месяцам неравномерность выпадения осадков, что, несомненно, могло негативно повлиять на развитие микроорганизмов почвы [9], [12]. Изменения значений влажности почвы менялись в полном соответствии с климатическими характеристиками анализируемого вегетационного периода. В частности, показатель влаж-

ности почвы, отобранной в ноябре 2023 г. и в конце апреля 2024 г., составил 23,5–29,2 % (таблица 1), что свидетельствует об оптимальном водном режиме почвы. При отборе почвы в мае выявлено снижение влажности почвы до 12,5 % для контрольного образца и 8,3–10,9 % – для опытных образцов. Для июльских образцов почвы (к3 и о3) из группы вариантов «осеннее внесение биопрепарата» влажность почвы находилась на уровне предыдущего срока отбора и составляла 9,6–11,2 %. В тоже время на этот срок по сравнению с предыдущим периодом отбора для образцов почвы из группы «весеннее внесение биопрепарата» установлено существенное снижение показателя влажности почвы более чем в 7 раз для контрольного образца и незначительное снижение до 7,8 % – для опытного образца (таблица 1). Напоминаем, что в июле количество осадков составило 84 % нормы.

Таблица 1 – Коэффициент влажности почвы, %

Срок внесения биопрепарата	к нач.	Фаза кущения		Фаза выход в трубку		Фаза восковой спелости	
		к1	о1	к2	о2	к3	о3
осеннее	23,5	27,7	29,2	12,5	10,9	9,6	11,2
весеннее	23,5	–	–	12,5	8,3	1,6	7,8
сроки отбора почвы	08.11.2023	25.04.2024		31.05.2024		25.07.2024	

Почвенная вода, несомненно, наиболее важная характеристика почвы, поскольку определяет жизнедеятельность обитающих там представителей флоры и фауны. Важное значение имеет количество осадков на протяжении года и в первую очередь вегетационного периода. Большую часть воды из почвы потребляют растения, поэтому оптимальное увлажнение почвы определяет продуктивность сельскохозяйственных растений.

Численность представителей микробоценоза почвы при осеннем внесении биопрепарата Грамисил представлена в таблице 2. При анализе данных отмечено, что в фазу кущения озимого ячменя в опытном образце почвы по сравнению с контрольным образцом выявлено существенное увеличение численности микроорганизмов, включая бактерии, актиномицеты и микромицеты. В первую очередь это представители зимогенной экологической ниши, которая в том числе включает микромицеты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что биопрепарат Грамисил в фазе кущения активно стимулирует разложение свежего органического вещества, в первую очередь растительного происхождения. На это указывает значимое повышение значения КОЕ/г для целлюлозолитических микроорганизмов в 1,6 раза и микромицетов – в 2,6 раза.

На следующих этапах вегетации озимого ячменя в почвенных образцах установлено значимое снижение по сравнению с контролем численности микроорганизмов-аммонификаторов и представителей амилалитических микроорганизмов.

Среди представителей олиготрофной экологической ниши влияние биопрепарата Грамисил отмечали на стадиях: фаза выхода в трубку и фаза восковой спелости. В конце мая численность фосфатмобилизирующих бактерий в опытном варианте достоверно снижалась в 5 раз, но в июле, наоборот, возрастала почти в 3 раза. Отмечено существенное увеличение азотфиксаторов (олигонитрофильные бактерии) в 1,7 и 1,4 раза, соответственно, по стадиям роста ячменя. В опытных образцах почвы, отобранных в обеих анализируемых фазах роста злака, наблюдали стабильное подавление роста представителей олигокарбофильных микроорганизмов, которые отвечают за усвоение безазотистых углеродсодержащих органических соединений. Следует упомянуть, что олиготрофная микрофлора является преемницей процессов минерализации, активированной микроорганизмами зимогенной экологической ниши, основная ее функция – завершение превращения свежего органического вещества. Как известно, зимогенная и олиготрофная часть микрофлоры почвы составляют единую группу сапротрофов, поскольку разлагают в разной степени превращения мертвое органическое вещество из остатков растений и животных [7].

Для автохтонных микроорганизмов в опытных образцах почвы, отобранных в фазу выхода в трубку и фазу восковой спелости, установлено по сравнению с контрольными значениями достоверное снижение численности бактерий, соответственно, в 1,7 и 2,1 раз (таблица 2). В отношении автохтонной микрофлоры следует упомянуть, что ее представители – это коренное сообщество микроорганизмов почвы разных таксономических групп, изначально и

постоянно в ней присутствующие. В условиях агроценоза эта часть микроскопических организмов выполняет двойную функцию. С одной стороны, они синтезируют гумусоподобные соединения, с другой стороны, подвергают гумус деструкции.

Таблица 2 – Численность представителей микробоценоза почвы при осеннем внесении биопрепарата Грамисил в посевах ячменя, КОЕ/г абс.сух. почвы $\times 10^6$

Группа микроорганизмов	к нач.	Фаза кущения		Фаза выход в трубку		Фаза восковой спелости	
		к1	о1	к2	о2	к3	о3
зимогенная экологическая ниша							
аммонифицирующие	45,6 ± 1,4	30,5 ± 3,7	46,2 ± 4,5*	34,2 ± 0,6	16,0 ± 1,2*	33,0 ± 0,3	39,8 ± 7,0
споровые аммонификаторы	4,6 ± 0,4	3,5 ± 0,8	4,9 ± 1,1	2,7 ± 0,4	3,4 ± 0,2	3,3 ± 0,2	2,2 ± 0,2*
амилолитические	40,5 ± 5,0	30,9 ± 0,3	50,1 ± 4,2*	117,0 ± 8,0	30,24 ± 0,7*	54,2 ± 6,0	35,8 ± 2,5*
целлюлозолитические	65,5 ± 5,2	58,3 ± 3,1	92,5 ± 4,9*	63,4 ± 5,5	81,2 ± 0,8*	93,8 ± 7,2	76,8 ± 7,3
олиготрофная экологическая ниша							
фосфатмобилизующие бактерии	2,0 ± 0,3	0,6 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,04 ± 0,01*	0,07 ± 0,02	0,2 ± 0,02*
олигонитрофильные	30,2 ± 5,8	34,0 ± 1,8	30,0 ± 0,9	25,7 ± 4,0	41,9 ± 5,3*	25,1 ± 1,9	34,0 ± 2,5*
олигокарбофильные	45,5 ± 1,7	54,2 ± 4,7	68,9 ± 3,2	54,2 ± 1,5	42,1 ± 0,7*	53,5 ± 4,7	40,9 ± 4,7*
автохтонная экологическая ниша							
автохтонные. Олиготрофы	52,0 ± 4,9	49,0 ± 6,1	53,7 ± 3,1	77,9 ± 13,5	46,2 ± 11,7*	53,2 ± 4,2	25,0 ± 1,6*
миксотрофно-синтетическая экологическая ниша							
микробицеты, × 10 ³	0,03 ± 0,01	9,7 ± 2,1	26,3 ± 5,4*	6,9 ± 0,3	4,5 ± 0,5*	4,6 ± 0,7	2,4 ± 0,5*

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

Данные по средним значениям КОЕ/г представителей разных экологических ниш микроорганизмов почвы при весеннем внесении биопрепарата Грамисил в посевах ячменя отражены в таблице 3. Анализ данных показал в опытном варианте по сравнению с соответствующим контрольным образцом почвы, отобранных в фазе выхода в трубку, существенное снижение численности микроорганизмов-аммонификаторов, амилолитической группы, микробицетов, соответственно, в 1,3; 3,4; 1,7 раза. Для почвы, отобранной в фазе восковой спелости озимого ячменя, по большинству из тестируемых групп микроорганизмов отмечали в опытном образце достоверное в два и более раза повышение значения КОЕ/г. Сказанное касается представителей всех экологических ниш: зимогенной, олиготрофной и автохтонной, которые напрямую участвуют в превращении органического вещества почвы. Исключение относится к фосфатмобилизующим бактериям, количество которых в опытном варианте снизилось в 1,9 раз по сравнению с данными опытного образца почвы.

Таблица 3 – Численность представителей микробоценоза почвы при весеннем внесении биопрепарата Грамисил в посевах ячменя, КОЕ/г абс.сух. почвы $\times 10^6$

Группа микроорганизмов	к нач.	Фаза выход в трубку		Фаза восковой спелости	
		к2	о2	к3	о3
зимогенная экологическая ниша					
аммонифицирующие	45,6 ± 1,4	34,2 ± 0,6	26,0 ± 1,3*	10,1 ± 4,1	37,5 ± 3,7*
споровые аммонификаторы	4,6 ± 0,4	2,7 ± 0,4	2,8 ± 0,3	1,8 ± 0,1	1,9 ± 0,2
амилолитические	40,5 ± 5,0	117,0 ± 8,0	33,7 ± 1,7*	22,5 ± 1,8	63,2 ± 4,2*
целлюлозолитические	65,5 ± 5,2	63,4 ± 5,5	54,1 ± 0,9	37,1 ± 0,2	88,7 ± 11,4*
олиготрофная экологическая ниша					
фосфатмобилизующие бактерии	2,0 ± 0,3	0,2 ± 0,1	0,17 ± 0,04	0,13 ± 0,06	0,07 ± 0,02*
олигонитрофильные	30,2 ± 5,8	25,7 ± 4,0	24,7 ± 0,4	29,6 ± 3,0	28,3 ± 5,7
олигокарбофильные	45,5 ± 1,7	54,2 ± 1,5	63,9 ± 1,7	21,6 ± 0,9	43,8 ± 6,9*
автохтонная экологическая ниша					
автохтонные. Олиготрофы	52,0 ± 4,9	77,9 ± 13,5	74,1 ± 2,5	14,5 ± 2,2	39,2 ± 2,5*
миксотрофно-синтетическая экологическая ниша					
микрмицеты, × 10 ³	0,03 ± 0,01	6,9 ± 0,3	3,9 ± 0,4*	4,3 ± 0,4	5,5 ± 0,5

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

Необходимо подчеркнуть следующую особенность в распределении численности тестируемых групп микроорганизмов, наблюдаемую в полевом эксперименте: вне вегетационного периода (в ноябре) отмечена достоверно большая численность, до 2–50 раз, представителей фосфатмобилизирующих бактерий по сравнению с их количеством в весенне-летний период. С другой стороны, в этот период значение КОЕ/г для микромицетов, наоборот, снижено в 100 и более раз.

Рассмотрим влияние сроков внесения биопрепарата Грамисил (осенний и весенний сроки) на количественный состав и качественный спектр представителей почвенного микробоценоза в образцах почвы, отобранных в фазах выхода в трубку и восковой спелости озимого ячменя.

В отношении почвы опытных образцов, отобранных в фазе выхода в трубку, выявлена для представителей трех основных экологических ниш достоверно разная реакция показателя КОЕ/г, в зависимости от времени внесения биопрепарата (таблицы 2 и 3). В частности, целлюлозолитические бактерии (представители зимогенной экологической ниши) в количественном отношении представлены больше в образцах почвы из группы вариантов «осеннее внесение биопрепарата». Аналогичная реакция отмечена для олигонитрофильных бактерий, которые включены в олиготрофную экологическую нишу. В тоже время для других представителей почвенных микроорганизмов из группы вариантов «осеннее внесение биопрепарата», а именно: внутри олиготрофной экологической ниши (фосфатмобилизирующие бактерии и азотфиксаторы (олигонитрофильные)) и олиготрофы из автохтонной экологической ниши, установлено достоверное снижение их численности.

Касательно почвы опытных образцов из группы «весеннее внесение биопрепарата», отобранных в фазе восковой спелости, практически для всех анализируемых групп микроорганизмов отмечали достоверное повышение численности представителей в сравнении с контрольными значениями. В то время как в образцах из группы «осеннее внесение биопрепарата» для большинства представителей микробоценоза наблюдали снижение значения КОЕ/г в опытных образцах по сравнению с соответствующими контрольными образцами. Исключение составили фосфатмобилизирующие бактерии и олигонитрофильные бактерии.

Рассмотрим влияние биопрепарата Грамисил на эколого-трофические индексы и коэффициенты (таблица 4). Следует отметить, что на основании микробиологического анализа в отобранных в фазе кущения ячменя контрольном и опытном образцах почвы установлено активное протекание в этот период в исследуемом агроценозе и минерализационных, и иммобилизационных процессов, о чем свидетельствует коэффициент минерализации, равный, соответственно, 1,0 и 1,1. На этапе роста ячменя выход в трубку коэффициент минерализации равен 3,4, что, согласно [7], косвенно указывает на повышение скорости разложения гумуса. В опытных вариантах значения коэффициента, равные 1,9 и 1,3, позволяют утверждать о доминировании в обеих группах микроорганизмов иммобилизационных процессов. Необходимо указать, что для отобранной в фазе восковой спелости почвы из группы «весеннее внесение биопрепарата» в опытном и контрольном образцах сохраняется такая же тенденция в направлении метаболических реакций, как и в предыдущей фазе роста ячменя. В тоже время для опытной почвы из группы «осеннее внесение биопрепарата» коэффициент минерализации, равный 0,9, свидетельствует о незначительном усилении минерализационных процессов.

Таблица 4 – Влияние биопрепарата Грамисил на эколого-трофические индексы и коэффициенты

Показатели	К нач.	Фаза кущения		Фаза выход в трубку				Фаза восковой спелости			
		к1о	о1о	к2о	о2о	к2в	о2в	к3о	о3о	к3в	о3в
коэффициент минерализации	0,9	1,0	1,1	3,4	1,9	3,4	1,3	1,6	0,9	2,2	1,7
коэффициент педотрофности	1,1	1,6	1,2	2,3	2,9	2,3	2,9	1,6	0,6	1,4	1,1
индекс олиготрофности	1,0	1,8	1,5	1,6	2,6	1,6	2,5	1,6	1,0	2,1	1,2

Примечание: о – осеннее внесение биопрепарата; в – весеннее внесение биопрепарата.

Значение индекса олиготрофности, установленное при изучении почвенных образцов опытных вариантов, вне зависимости от сроков внесения биопрепарата Грамисил, имеет одинаковую направленность процессов (таблица 4). На стадиях роста ячменя фаза кущения и фаза восковой спелости в опытных вариантах почвы по сравнению с контролем активизируют-

ся процессы деструкции органического вещества. В тоже время для опытных почвенных образцов, отобранных в фазе выхода в трубку, отмечено замедление процессов деструкции, что может указывать на переход изучаемого микробоценоза в более устойчивое состояние, близкое к состоянию климаксовой системы. Следует упомянуть, что олиготрофная часть почвенного микробоценоза участвует в преобразовании промежуточного органического вещества до структур специфического органического вещества, включающих гуминовые кислоты, фульвокислоты, гумины, негидролизуемые остатки.

Значения коэффициента педотрофности (таблица 4), установленные на основании изучения опытных образцов почвы, отобранных в фазе выхода в трубку, свидетельствуют о большей устойчивости изучаемого биогеоценоза к негативным воздействиям по сравнению с контролем. В данный период замедление процессов деструкции органического вещества промежуточной стадии разложённости определяет снижение активности процессов превращения неспецифической органической части почвы через реакции поликонденсации и полимеризации в гумусовые вещества почвы. В свою очередь, для опытных образцов почвы, отобранных в фазах кушения и восковой спелости, усиление гумификации промежуточного вещества представителями олиготрофной микробной ниши инициирует увеличение процессов разложения, трансформации и продуцирования гумуса. Данные процессы существенно снижают устойчивость ценоза к негативным воздействиям со стороны прежде всего биотических факторов среды.

Заключение. На основании проведенного микробиологического исследования биопрепарата Грамисил, используемого в качестве прикорневой подкормки в фазе кушения (в двух сроках: осенний и весенний периоды) в посевах ярового ячменя, культивированного на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве Гомельского региона республики, установлено: полученные значения эколого-трофических коэффициентов свидетельствуют, что направленность процессов превращения органической биомассы на всех стадиях ее преобразования не зависит от сроков внесения биопрепарата Грамисил. На основе изучения опытных образцов почвы, отобранных в фазе выхода в трубку, по сравнению с контрольными образцами установлено замедление процессов деструкции органического вещества промежуточной стадии разложённости и, соответственно, снижение синтеза и преобразования гумуса. В свою очередь, для опытных образцов почвы, отобранных в фазах кушения и восковой спелости, усиление гумификации промежуточного вещества представителями олиготрофной микробной ниши инициирует увеличение процессов разложения, трансформации и продуцирования гумуса. Значения индексов олиготрофности и педотрофности, установленные на основании изучения опытных образцов почвы, отобранных в фазу выхода в трубку, указывают на повышение стабилизации изучаемого биоценоза к негативным биотическим и абиотическим факторам среды при внесении биопрепарата Грамисил. В тоже время на стадии кушения и восковой спелости биоценоз опытного варианта характеризуется меньшей устойчивостью к внешним вмешательствам.

Литература

1. Грамисил [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://inmi.by/2023/09/06/gramisil/>. – Дата доступа : 20.01.2025.
2. Препарат микробный «Грамисил», ж [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pesticidy.by/mikrobiologicheskie-udobreniya/preparat-mikrobnyj-gramisil-zh/>. – Дата доступа : 20.01.2025.
3. Timofeeva, A. Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture / A. Timofeeva, M. Galyamova, S. Sedykh // Plants. – 2022. – № 11. – P. 2119.
4. Кадырова, Г. Х. Фосфат-солюбилизирующая активность ризобактерий пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Г. Х. Кадырова [и др.] // Universum : химия и биология : научн. журн. – 2022. – № 12 (102). – С. 22–27.
5. Чернова, Т. И. Управление почвенными микробными сообществами : возможности и перспективы / Т. И. Чернова, М. В. Семенова // Почвоведение. – 2021. – № 12. – С. 1506–1522.
6. Прудникова, С. В. Методы микроэкологического исследования наземных, водных и воздушных экосистем : учеб. пособ. для студ. высш. учеб. завед. / С. В. Прудникова [и др.]. – Красноярск : СФУ, 2007. – 152 с.
7. Титова, В. И. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества : науч. метод. пособ. / В. И. Титова, А. В. Козлов. – Н. Новгород : Нижегород с.-х. акад., 2012. – 192 с.

8. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений : ГОСТ 28268-89 ; введ. 01.06.1990. – М. : Стандартинформ, 2006. – 6 с.
9. Растениеводство : учеб. для вузов / Г. С. Посыпанов [и др.]. – М. : Изд-во «НИЦ ИНФРА-М», 2022. – 612 с.
10. Шеламова, М. А. Статистический анализ медико-биологических данных с использованием программы Excel : учеб.-метод. пособ. / М. А. Шеламова, Н. И. Инсарова, В. Г. Лещенко. – Минск : БГМУ, 2010. – 96 с.
11. Климатическая характеристика мая 2024 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pogoda.by/information/news/21916>. – Дата доступа : 20.01.2025.
12. Концевая, И. И. Влияние микробных удобрений на взаимоотношения основных экологотрофических групп почвенных микроорганизмов в посевах ярового ячменя в условиях засухи / И. И. Концевая [и др.] // Известия ГГУ им. Ф. Скорины. – 2024. – № 3 (144). – С. 46–51.

Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины

Поступила в редакцию 24.01.2025