

СТАТЬЯ

УДК 635.252:631.8:581.1

**ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ ЭНДОФИТНЫМИ РИЗОБАКТЕРИЯМИ  
НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
ЛУКОВИЧНЫХ КУЛЬТУР**

<sup>1</sup>Лебедев В.Н., <sup>1</sup>Воробейков Г.А., <sup>2</sup>Ураев Г.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена»,  
Санкт-Петербург, e-mail: antares-80@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения  
Императора Александра I», Санкт-Петербург, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

Работа посвящена изучению предпосевной корневой инокуляции основных овощных луковичных культур, лука репчатого (*Allium cepa* L.) сорта Центурион и чеснока посевного (*Allium sativum* L.) сорта Гарпек, микробиологическими биопрепаратами, содержащими ассоциативные штаммы эндофитных ризобактерий (Мизорин, Флавобактерин и Псевдомонас). Полевые опыты были заложены в условиях Ленинградской области на супесчаной дерново-слабоподзолистой почве после уравнительного посева ячменно-овсяной смеси. Во всех опытных вариантах было отмечено положительное влияние микроорганизмов на морфологические и урожайные показатели обеих культур. Наиболее эффективными биопрепаратами оказались Псевдомонас (*Pseudomonas fluorescens* штамм ПГ-5) и Флавобактерин (*Flavobacterium* sp. штамм 30). В эксперименте все морфометрические измерения (приживаемость луковиц, высота и число листьев, урожай зеленой массы лука, а также урожай луковиц лука и чеснока) проводились в соответствии с фазами их развития. Отмечено, что зеленая масса лука повышалась на 70%, а масса сформировавшихся луковиц на 68% относительно контроля. Биомасса луковиц чеснока превышала контрольный показатель на 64%. Эндофитные ризобактерии также способствовали повышению водоудерживающей способности листьев лука и чеснока относительно контроля на 17,6 и 19,6% соответственно. В статье отмечается повышение уровня доходов сельскохозяйственного предприятия от реализации продукции луковичных культур, полученной в результате предпосевной микробиологической инокуляции, сделанное на основе проведенной оценки экономического эффекта.

**Ключевые слова:** полевой опыт, инокуляция, эндофитные бактерии, ассоциативные ризобактерии, стимуляция роста, продуктивность, луковицы, лук репчатый, чеснок посевной, водоудерживающая способность, экономический эффект

**THE EFFECT OF INOCULATION BY ENDOPHYTIC RHIZOBACTERIA  
ON MORPHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF BULBOUS CULTURES**

<sup>1</sup>Lebedev V.N., <sup>1</sup>Vorobeykov G.A., <sup>2</sup>Uraev G.A.

<sup>1</sup>Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg,  
e-mail: antares-80@yandex.ru;

<sup>2</sup>Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, Saint Petersburg,  
e-mail: uraev.ga@yandex.ru

The article describes the study of pre-sowing root inoculation of the main vegetable bulbous crops with onion (*Allium cepa* L.) of the var. Centurion and garlic (*Allium sativum* L.) of the var. Harpec with bacterial preparations based on associative strains of endophytic rhizobacteria (Mizorin, Flavobacterin and Ekstrasol). Field experiments were conducted in the conditions of the Leningrad region on sandy loam sod-slightly podzolic soil after equalizing sowing of barley-oat mixture. In all experimental variants, a positive effect of microorganisms on the morphophysiological and yield indicators of both crops was noted. The most effective biologics were Pseudomonas (*Pseudomonas fluorescens* strain PG-5) and Flavobacterin (*Flavobacterium* sp. strain 30). In the experiment, all morphometric measurements (the survival rate of bulbs, the height and number of leaves, the yield of green onion mass, as well as the yield of onion and garlic bulbs) were carried out in accordance with the phases of their development. It was noted that the green mass of onions increased by 70%, and the mass of formed bulbs by 68%, relative to the control. The biomass of garlic bulbs exceeded the benchmark by 64%. Endophytic rhizobacteria also contributed to raising in the water-holding capacity of onion and garlic leaves relative to control by 17.6% and 19.6%, respectively. The article notes an increase in the level of income of an agricultural enterprise from the sale of bulbous crops obtained as a result of pre-sowing microbiological inoculation, made on the basis of an assessment of the economic effect.

**Keywords:** field experience, inoculation, endophytic bacteria, associative rhizobacteria, growth stimulation, productivity, bulbs, onion, garlic, water retention, economic effect

Глобализация экономики привела к интенсификации сельского хозяйства, которая в последние годы стала ориентироваться на биотехнологические методы, альтернативные химическим. Такие способы ведения аграрного производства основаны на его экологизации и повышении биоло-

гического потенциала почвы за счет возобновляемых ресурсов, к которым относится почвенная микрофлора. Поэтому применение эндофитных ризобактериальных штаммов, способных стимулировать ростовые процессы [1], оказывать протекторные свойства в условиях стресса [2–4], активи-

зирать физиологические процессы, также повышать показатели продуктивности [5]. Положительный эффект эндофитных ризобактерий основан на их способности не только колонизировать ризосферу после их искусственного внесения (инокуляции), но и проникать внутрь растительных тканей и транспортироваться по всему растительному организму [6]. При этом отзывчивость растения определенного вида и даже сорта на конкретный ризобактериальный штамм может существенно отличаться [7], что требует каждый раз нового изучения.

Объектом нашего исследования служили две наиболее распространенные по возделыванию луковичные культуры: лук репчатый и чеснок посевной [8, 9]. Практическая цель нашего исследования состояла в оценке эффективности инокуляции лука репчатого и чеснока посевного ассоциативными эндофитными штаммами ризобактерий на морфофизиологические процессы и продуктивность.

#### Материалы и методы исследования

Объектом работы являлись лук репчатый (*Allium cepa* L.) сорт Центурион и чеснок посевной (*Allium sativum* L.) сорт Гарпек испанской селекции, родственный по своим хозяйственным признакам отечественному сорту Алькор. Полевые опыты проводились по стандартной методике [10] на опытном поле агробиостанции ФГБОУ ВПО «Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена» в Ленинградской области в 2018–2019, 2021 гг. Опыты закладывались весной. Повторность каждого варианта эксперимента четырехкратная. Для работы были отобраны биопрепараты на основе эндофитных бактерий, созданных Всероссийским НИИ сельскохозяйственной микробиологии РАСХН: Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Flavобактерин (*Flavobacterium* sp. штамм 30) и Псевдомонас (*Pseudomonas fluorescens* штамм ПГ-5).

Инокуляция (бактеризация) эндофитными ризобактериями культурных растений осуществляется тремя способами: семенным, корневым (для рассады) и листовым (для листовых культур) [11]. Для луковичных культур нами был использован корневой инокуляционный метод. Процесс корневой инокуляции луковиц проводился перед их посевом в соответствии с разработанными рекомендациями [12–14]. В контроле семена вместо бактериальной суспензии поливались водой.

Полевые опыты были заложены на слабо окультуренной супесчаной дерново-слабоподзолистой почве. На протяжении четырех лет на этой площади проводился уравнительный посев из ячменно-овсяной смеси.

Приживаемость луковиц учитывалась на седьмой день после их посева. Морфометрические показатели высоты и числа листьев, а также продуктивность зеленой надземной массы лука репчатого учитывали в фазе полных всходов укосным методом в начале пожелтения кончиков листьев. Сбор урожая луковиц лука репчатого и чеснока посевного проводили на третий день стадии полного увядания надземной части. Водоудерживающая способность листьев оценивалась методом «увядания» по Арланду [15] в фазу полных всходов. Полученные экспериментальные результаты обрабатывались статистическим методом дисперсионного анализа с использованием табличного процессора Microsoft Excel [16].

На основании оценки продуктивности луковичных культур был проведен экономический анализ изменения абсолютных значений дохода от их реализации в отношении контрольных значений, где процесс инокуляции не проводился. В качестве критерия эффективности использовалась оценка экономического эффекта от инокуляции эндофитными ризобактериями луковичных культур. Экономическая эффективность инокуляции луковичных культур определялась по формуле

$$\text{ЭЭ}_{ij} = (D_{ij} / D_{i0}) \cdot 100,$$

$\text{ЭЭ}_{ij}$  – экономическая эффективность от инокуляции  $i$ -й луковичной культуры  $j$ -м препаратом, %;

$D_{ij}$  – доход от реализации  $i$ -й луковичной культуры при инокуляции  $j$ -м препаратом, тыс. руб.;

$D_{i0}$  – доход от реализации  $i$ -й луковичной культуры без инокуляции (контроль), тыс. руб.

Данный аналитический подход был нами достаточно подробно описан и применен при изучении результатов проведения микробиологической инокуляции при возделывании других культур [17].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Морфогенез и формирование урожая луковичных культур во многом определяется таким важным физиологическим показателем, как выживаемость луковиц. Это связано с тем, что биохимические процес-

сы, которые протекают в период формирования почки возобновления, отражаются на всех последующих фазах развития растения. В наших полевых опытах была показана стимулирующая роль эндофитных ассоциативных бактерий на прорастание луковец (табл. 1). На протяжении всех лет исследования опытные варианты с применением биопрепаратов достоверно отличались наибольшей приживаемостью. У лука репчатого в среднем по трехлетним данным наибольшую эффективность проявляли Псевдомонас (92%) и Флавобактерин (89%), что превышало контроль (57%) на 35 и 32% соответственно. В опытах с чесноком наблюдалась аналогичная ситуация. В вариантах с данными препаратами по средним показателям приживаемость луковец составляла 91% (Псевдомонас) и 90% (Флавобактерин) при показателях контроля 59%.

Установлено, что эндофитные ризобактерии способствовали повышению ростовых процессов: высоты и числа ли-

стьев (табл. 2). Анализ результатов, полученных на фазе полных всходов лука, показал увеличение высоты листьев в опытах с Псевдомонасом и Флавобактерином на 57% (60,3 см) и 50% (57,6 см) относительно контроля (38,4 см). Высота листьев чеснока при использовании этих препаратов по отношению к контролю (34,7 см) также была максимальной – 57,0 и 55,3 см соответственно.

Кроме того, в опытах отмечалось увеличение числа формирования листьев. Применение эндофитных бактерий из числа псевдомонад стимулировало рост этого параметра в среднем на 60% (7,7 шт./раст.), а флавобактерий – на 56% (7,5 шт./раст.) больше контрольных значений (4,8 шт./раст.). При этом у чеснока посевного в среднем достаточно резкое возрастание количества листьев отмечено при использовании Псевдомонаса – на 77% (6,9 шт./раст.), по сравнению не только с неинокулированным контролем (3,9 шт./раст.), но и с другими опытными вариантами (5,1–5,4 шт./раст.).

**Таблица 1**

Влияние ассоциативных ризобактериальных препаратов на приживаемость луковец

Вариант	Лук репчатый					Чеснок посевной				
	2018	2019	2021	Среднее за 3 года		2018	2019	2021	Среднее за 3 года	
	%	%	%	%	Δ%	%	%	%	%	Δ%
Контроль	59	49	64	57	–	58	57	61	59	–
Мизорин	74	67	58	66	+9	70	74	69	71	+12
Флавобактерин	91	88	87	89	+32	89	88	92	90	+32
Псевдомонас	91	96	89	92	+35	85	93	95	91	+33
НСР <sub>0,5</sub>	2,9	2,4	3,1	2,5	–	2,7	2,5	2,3	2,4	–

**Таблица 2**

Действие ассоциативных эндофитных бактерий на высоту и число листьев лука репчатого и чеснока посевного (среднее за 3 года)

Вариант	Лук репчатый				Чеснок посевной			
	Высота листьев		Число листьев		Высота листьев		Число листьев	
	См	%	шт./раст.	%	см	%	шт./раст.	%
Контроль	38,4	100	4,8	100	34,7	100	3,9	100
Мизорин	53,7	140	6,3	131	48,9	141	5,4	138
Флавобактерин	57,6	150	7,5	156	55,3	159	5,1	131
Псевдомонас	60,3	157	7,7	160	57,0	164	6,9	177
НСР <sub>0,5</sub>	2,5	–	0,2	–	1,8	–	1,9	–

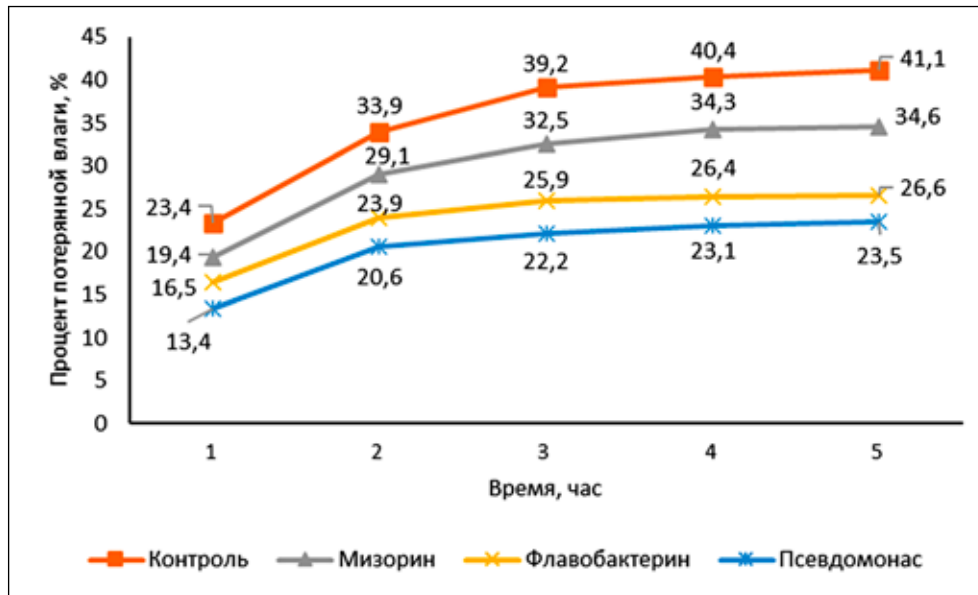


Рис. 1. Влияние ризобактерий на водоудерживающую способность листьев лука репчатого

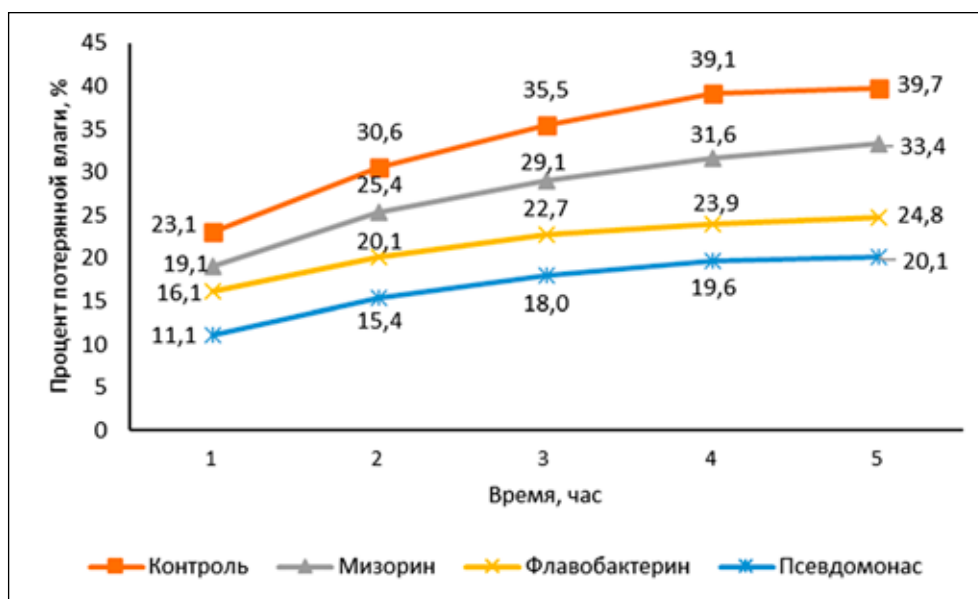


Рис. 2. Влияние ризобактерий на водоудерживающую способность листьев чеснока посевного

Одним из показателей интенсивности физиологических процессов у растительных организмов является сохранение определенного уровня подвижности воды в их тканях. Поэтому определенным критерием устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды служит водоудерживающая способность, как показатель наличия связанной и осмотически не активной формы воды.

В наших экспериментах у всех опытных вариантов на обеих культурах отмечалась сравнительно низкая водоудерживающая

способность листьев относительно контроля (рис. 1, 2). Наиболее эффективным эндофитным ризобактериальным штаммом оказался *Pseudomonas fluorescens* штамм ПГ-5 в одноименном биопрепарате. После бактеризации им корней лука и чеснока листья растений в итоге за 5 часов теряли только 23,5 и 20,1% влаги соответственно. Эти данные водоудерживающей способности на 17,6% (лук) и 19,6% (чеснок) меньше вариантов, где инокуляция нами не проводилась.

Таблица 3

Влияние микробиологических штаммов на урожайные процессы растений лука репчатого и чеснока посевного, ц/га (среднее за 3 года)

Вариант	Лук репчатый				Чеснок посевной	
	Зеленая масса		Масса луковиц		Масса луковиц	
	ц/га	%	ц/га	%	ц/га	%
Контроль	10,2	100	70,9	100	37,8	100
Мизорин	15,9	156	85,8	121	43,5	115
Флавобактерин	16,8	165	108,5	153	54,8	145
Псевдомонас	17,3	170	119,1	168	62,0	164
НСР <sub>0,5</sub>	2,3	–	2,5	–	2,9	–

Таблица 4

Доход от реализации урожая луковичных культур с 1 га

Вариант	Лук репчатый				Чеснок посевной	
	Зеленая масса		Масса луковиц		Масса луковиц	
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%
Контроль	153,0	100,0	120,5	100,0	423,4	100,0
Мизорин	238,5	155,9	145,9	121,0	487,2	115,1
Флавобактерин	252,0	164,7	108,5	153,0	613,8	145,0
Псевдомонас	259,5	169,6	202,5	169,6	694,4	164,0

Наблюдаемые нами ранее морфофизиологические изменения нашли свое отражение и в формировании урожайных показателей исследованных культур (табл. 3). В опыте с луком репчатым урожайность зеленой массы в среднем за три года возросла относительно контроля (10,2 ц/га) до 17,3 ц/га в опытном варианте Псевдомонасом и до 16,8 ц/га при использовании Флавобактерина.

Аналогичное позитивное влияние данных эндофитных бактерий нами отмечалось на увеличении массы луковиц *Allium cepa* L. на 68% (Псевдомонас) и на 53% (Флавобактерин), к контролю (70,9 ц/га).

Масса луковиц-головок чеснока посевного была максимальной также в варианте с применением Псевдомонаса – 62,0 ц/га, что на 64% выше контрольных значений (37,8 ц/га). В других опытных вариантах эффект от корневой инокуляции эндофитными ризобактериями был менее значительным (43,5–54,8 ц/га), хотя показатели достоверно отличались от показателей урожайности в контроле.

Рассмотренная ранее биологическая эффективность инокуляции на луковичные культуры находит свое отражение и при

оценке экономического эффекта от реализации такой продукции аграрным предприятием (табл. 4).

Доход сельскохозяйственных предприятий от реализации луковичных культур при инокуляции эндофитными бактериями в сравнении с контролем стремительно возрастает. По нашей оценке, среднее увеличение дохода по луку репчатому:

– при реализации зеленой массы составит 63,4%,

– при реализации луковиц превышение дохода к контрольной группе составит 47,3%.

Аналогичный эффект наблюдается и по чесноку посевному – среднее увеличение дохода достигает в наших опытах 41,4%.

Наибольшая экономическая эффективность достигалась

– по луку репчатому при реализации зеленой массы и луковиц с применением Псевдомонаса – 69,9% по сравнению с контролем;

– по чесноку при реализации луковиц с применением Псевдомонаса – 64,0%

#### Заключение

Таким образом, предпосевная инокуляция луковиц исследованных растений лука репчатого и чеснока посевного эндофитны-

ми ризобактериальными штаммами стимулирует их морфофизиологические процессы и способствует повышению урожайных показателей. Наиболее эффективным оказалось применение биопрепарата Псевдомонас (*Pseudomonas fluorescens* штамм ПГ-5) на обеих культурах. В данном опытном варианте по отношению к контролю повышается приживаемость луковиц лука (на 35%) и чеснока (на 33%), увеличивается линейный рост (у лука – на 57%; у чеснока – на 60%) и число листьев (у лука – на 64%; у чеснока – на 77%). При этом урожайность зеленой массы лука повышалась на 70%, а масса сформировавшихся луковиц на 68% относительно контроля. Биомасса луковиц чеснока также превышала контрольный показатель на 64%. Кроме того, именно в данном опытном варианте отмечалась наибольшая водоудерживающая способность, а растения теряли влагу на 17,6% (лук) и 19,6% (чеснок) меньше контроля.

В результате анализа экономического эффекта установлена возможность увеличения доходов предприятий аграрного сектора от реализации луковичных культур при условии проведения перед посевом инокулирования посадочного материала эндофитными бактериями ризосферы.

#### Список литературы

1. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Экология азотфиксации. Саратов: ООО «Амирит», 2019. 252 с.
2. Матвеева Н.И., Калмыкова Е.В., Петров Ю.Н., Зволинский В.В., Нарушев В.Б. Научное обоснование агротехнических приемов повышения урожайности и качества лука репчатого на территории Астраханской области // Аграрный научный журнал. 2019. № 5. С. 29–37.
3. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н., Лебедев В.Н., Юргина В.С. Биология критического периода растений в условиях нарушения влажности почвы: к 100-летию со дня рождения профессора В.В. Аникиева // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2015. № 173. С. 49–53.
4. Ha Tran D.M., Nguyen T.T.M., Hung S.H., Huang C.C., Huang E. Roles of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review. International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. No. 6. P. 1–38.
5. Лебедев В.Н. Влияние инокуляции семян ассоциативными ризобактериями на изменение численности бутонов и цветков у горчицы белой // Инновации в развитии экологического образования населения. Кластерный подход: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (Курган, 23–24 октября 2013 г.). Курган, 2013. С. 166–168.
6. Чеботарь В.К., Щербakov А.В., Щербакoва Е.Н., Масленникова С.Н., Заплаткин А.Н., Мальфанова Н.В. Эндofитные бактерии как перспективный биотехнологический ресурс и их разнообразие // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 648–654.
7. Basu A., Prasad P., Das S.N., Kalam S., Sayyed R.Z., Reddy M.S., Enshasy H.E. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects. Sustainability. 2021. Vol. 13. No. 3. P. 1–20.
8. Улимбашев А.М. Сравнительная оценка сортов репчатого лука для получения севка в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 45. С. 36–40.
9. Иванова Т.Е., Лекомцева Е.В. Урожайность сортообразцов ярового чеснока в зависимости от посадочного материала: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Ижевск: ФГБОУ ВПО «Ижевская ГСХА», 2014. С. 148–151.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 6-е изд. М.: Альянс, 2011. 350 с.
11. Фомина Л.В., Олейникова Е.Н. Эффективность применения природных биостимуляторов при формировании хозяйственно ценных признаков зеленого лука // Вестник КРАСГАУ. 2017. Т. 12 (135). С. 34–43.
12. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. 2016. № 5. С. 28–32.
13. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрoхимия. 2019. № 8. С. 83–96.
14. Панферова Т.В., Пухальский Я.В., Митюков А.С., Воробьев Н.И., Кампутин И.В., Кожемяков А.П., Лактионов Ю.В., Лоскутов С.И., Якубовская А.И., Ивахнюк Г.К. Оценка применения биопрепарата комплексного действия Агрофил и полигуматов сапропеля на интенсификацию физиологических процессов *Allium* *sepa* L. при росте в омагниченной гидрокультуре // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 38–44.
15. Мыхлык А.И., Дуктова Н.А. Физиология устойчивости сельскохозяйственных растений: методические указания по выполнению лабораторных работ. Горки: БГСХА, 2020. 77 с.
16. Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Основы обработки экспериментальных данных с использованием табличного процессора Excel: учебное пособие для студентов педагогических специальностей. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2021. 54 с.
17. Лебедев В.Н. Ассоциативные штаммы бактерий как современный элемент экологизации выращивания капустных растений // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2014. № 168. С. 49–53.