



Научная статья

УДК 631.811.98

doi: 10.55186/25876740\_2024\_67\_4\_492

## ИЗУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИТОМЕЛАТОНИНА КАК ПЕРСПЕКТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА РОСТА РАСТЕНИЙ

**О.А. Шаповал, М.Т. Мухина**

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия

**Аннотация.** В проведенных исследованиях в качестве стандартного способа тестирования ростовых веществ для анализа биологической активности было выбрано определение всхожести и энергии прорастания семян, а также анализ развития проростков (ГОСТ 33061-2014). Исследования, направленные на установление оптимальной концентрации растворов фитомелатонина для предпосевной обработки семян, а также изучение их воздействия на всхожесть семян и интенсивность их прорастания проводились в лаборатории испытаний элементов агротехнологий, агрохимиков и регуляторов роста растений ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» в 2019-2020 гг. Исследования проводились в двух пулах лабораторных опытов. Объектами исследований в опыте были: 1. Мелатонин (N-acetyl-5-methoxytryptamine), который представляет собой плеiotропную молекулу индолиновой природы; 2. Пшеница яровая, сорт Злата — разновидность лютесценции; 3. Соя, сорт Олимпия; 4. Огурец, гибрид Герман F1 (зашитенный грунт). В результате исследований был определен диапазон оптимальных концентраций для обработки семян фитомелатонином, который составил для культуры яровой пшеницы 0,05; 0,01 и 0,0001%. Для культуры сои и огурца диапазон оптимальных концентраций для обработки семян фитомелатонином составил 0,05; 0,001 и 0,0005% соответственно. В опытных вариантах с изучаемыми концентрациями были получены высокие биометрические показатели проростков сельскохозяйственных культур (длина корешка и ростка), всхожесть и энергия прорастания.

**Ключевые слова:** мелатонин, удобрения, микроэлементы, регистрационные испытания, регулятор роста

Original article

## STUDYING THE BIOLOGICAL EFFECTIVENESS OF PHYTOMELATONIN AS A PROMISING PLANT GROWTH REGULATOR

**O.A. Shapoval, M.T. Mukhina**

All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia

**Abstract.** As a result of our research determination of germination and germination energy of seeds, as well as analysis of seedling development (GOST 33061-2014) was chosen as a standard method for testing growth substances for the analysis of biological activity. Research aimed at establishing the optimal concentration of phytomelatonin solutions for pre-sowing seed treatment, as well as studying their effect on seed germination and the intensity of their germination, was carried out in the laboratory for testing elements of agricultural technologies, agrochemicals and plant growth regulators of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov in 2019-2020. The studies were carried out in two pools of laboratory experiments. The objects of research in the experiment were: 1. Melatonin (N-acetyl-5-methoxytryptamine), which is a pleiotropic molecule of indole nature; 2. Spring wheat, Zlata variety — a variety of lutescens; 3. Soybean, Olympia variety; 4. Cucumber, hybrid Hermann F1 (protected soil). As a result of our research, the range of optimal concentrations for seed treatment with phytomelatonin was determined, which was 0.05% for spring wheat; 0.01 and 0.0001%. For soybean and cucumber crops, the range of optimal concentrations for seed treatment with phytomelatonin was 0.05; 0.001 and 0.0005% respectively. In experimental variants with the studied concentrations, we obtained high biometric indicators of crop seedlings (length of root and sprout), germination, and germination energy.

**Keywords:** melatonin, fertilizers, microelements, registration tests, growth regulator

**Введение.** В последние годы наблюдается повышенный интерес к поиску новых биологически активных веществ природного происхождения. Отдельное место в этом процессе занимает мелатонин (N-ацетил-5-метокситриптамин): молекула, обладающая плеiotропным действием, встречающаяся в эволюционно отдаленных организмах, таких как бактерии, одно- и многоклеточные водоросли, высшие растения, беспозвоночные и позвоночные животные [1, 2, 4].

Открытие фитомелатонина (ФМЛ) в растениях привело к значительным изменениям в исследованиях многих аспектов физиологии растений [7, 8].

Исследования последних лет показали, что растения оснащены ферментативной системой для биосинтеза ФМЛ; они также способны синтезировать предшественник ФМЛ — триптофан, а также поглощать экзогенно поступающий ФМЛ из окружающей среды. Все это позволяет предположить, что обработка семян мелатонином будет способствовать повышению их всхожести и энергии прорастания [3, 5, 6].

**Влияние мелатонина на качество посевного материала.** Фитомелатонин был обнаружен и количественно определен в корнях, побегах, листьях, цветах, плодах и семенах в яблоках,

яблоне, фасоли, огурцах, винограде, люпине, кукурузе, картофеле, рисе, помидорах и т.д. [5-8]. Его наивысшее содержание было обнаружено в репродуктивных органах, особенно в семенах. Было замечено, что концентрации ФМЛ различались не только от вида к виду растений, но и среди разновидностей одного и того же вида [6, 9].

Ряд исследователей отмечают, что обработка семян ряда культур мелатонином улучшает их энергию и эффективность прорастания, мелатонин в низких концентрациях может стимулировать рост растений в высоту, а большая концентрация оказывает ингибирующее действие, то есть эффект зависит от дозы и является видоспецифичным [1, 2, 4].

Возможность применения каждого нового биологически активного вещества в биологии, медицине, сельском хозяйстве сопровождается тестированием новых соединений на биологических модельных системах. В качестве стандартного способа тестирования ростовых веществ для анализа биологической активности на сельскохозяйственных культурах в настоящее время широко используют семена растений. Их тестируют на всхожесть и энергию прорастания семян, а также анализируют развитие проростков (ГОСТ 33061-2014).

Для определения оптимальных концентраций препаратов при обработке семян исследуемых растений в первичном скрининге важно выявить концентрации, при которых всхожесть, энергия прорастания, масса проростков, длина ростка и корешка будут самыми приемлемыми. От точности скрининга зависит будущая эффективность в процессе вегетации растений агроприемов.

**Методика проведения опыта.** Исследования, направленные на установление оптимальной концентрации растворов ФМЛ для предпосевной обработки семян, а также изучение их воздействия на всхожесть семян и интенсивность прорастания проводились в лаборатории испытаний элементов агротехнологий, агрохимиков и регуляторов роста растений ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» в 2019-2020 гг. в двух пулах лабораторных опытов.

Объектами исследований были: Мелатонин (N-acetyl-5-methoxytryptamine) — плеiotропная молекула индолиновой природы. Пшеница яровая, сорт Злата — разновидность лютесценции. Соя, сорт Олимпия. Огурец, гибрид Герман F1.

Повторность опыта — 4-кратная. Экспозиция обработки семян — 1 час.



Схемы опытов: 1. Контроль — вода; 2. Фитомелатонин — 1%; 3. Фитомелатонин — 0,9%; 4. Фитомелатонин — 0,8%; 5. Фитомелатонин — 0,7%; 6. Фитомелатонин — 0,6%; 7. Фитомелатонин — 0,5%; 8. Фитомелатонин — 0,4%; 9. Фитомелатонин — 0,3%; 10. Фитомелатонин — 0,2%; 11. Фитомелатонин — 0,1%; 12. Фитомелатонин — 0,05%; 13. Фитомелатонин — 0,01%; 14. Фитомелатонин — 0,005%; 15. Фитомелатонин — 0,001%; 16. Фитомелатонин — 0,0005%; 17. Фитомелатонин — 0,0001%; 18. Фитомелатонин — 0,00005%; 19. Фитомелатонин — 0,00001%.

Результаты исследований подвергали математической обработке методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов (Доспехов Б.А., 1985). Статистическую обработку результатов полевых опытов проводили на персональном компьютере с использованием программы AGROS версия 2.06.

**Результаты исследований эффективности фитомелатонина как перспективного регулятора роста растений.** За последние годы совершен большой прогресс в понимании роли ФМЛ. Однако в основном это касается физиологических функций фитомелатонина в растении. Его свойства как возможного стимулятора роста растений с весьма обширными функциями требовали тщательных исследований на различных культурах. Проведение скрининга с ФМЛ проходило в несколько этапов. Полученные результаты показали предварительно высокую биологическую активность данного вещества.

Скрининговые испытания фитомелатонина, проведенные на 3-х культурах в 2-х пулах лабораторного опыта выявили концентрации, при которых такие показатели, как всхожесть, энергия прорастания, масса проростков, длина ростка и корешка были самыми оптимальными. При проведении лабораторного опыта были использованы только высококачественные семена на выбранных культурах.

Для яровой пшеницы оптимальные концентрации при обработке семян находились в диапазоне: 0,05; 0,01; 0,0001%. Энергия прорастания в опытных вариантах колебалась от 99 до 100%, а в контроле — 95%, всхожесть показала одинаковые результаты — 100% (табл. 1). Результаты представлены в таблицах в среднем за 2 года испытаний.

Для огурца и сои оптимальными концентрациями при обработке семян оказались 0,05; 0,001 и 0,0005%. ФМЛ оказал влияние на энергию прорастания семян огурца. Если в контролльном варианте этот показатель составил 74%, то в вариантах с оптимальными концентрациями — 84-87%. Лабораторная всхожесть, как и в опыте с яровой пшеницей составила во всех оптимальных вариантах и в контроле 100% (табл. 2, 3). Необходимо отметить, что тенденции, с небольшими колебаниями, сохранялись в 2-х пулах опытов, как в 2019, так и 2020 гг.

На культуре сои мы смогли наблюдать выраженный эффект повышения всхожести и энергии прорастания семян в зависимости от варианта опыта.

Для культуры сои сохранялась тенденция повышения эффективности фитомелатонина, начиная с концентрации рабочего раствора 0,05%. Оптимальными концентрациями на культуре сои были 0,05; 0,001 и 0,0005%.

Таблица 2. Результаты скрининговых испытаний фитомелатонина на огурце  
Table 2. Results of screening tests of phytomelatonin on cucumber

Вариант опыта (концентрация раствора, %)	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Масса проростка, г	Длина корешка, см	Длина ростка, см
Контроль	74	100	13,2	5,9	4,0
1	72	95	12,8	5,7	3,6
0,9	72	96	12,9	5,8	3,9
0,8	70	95	12,1	5,8	3,7
0,7	75	96	12,2	6,0	3,5
0,6	74	96	12,5	5,7	3,1
0,5	71	97	12,8	6,0	3,6
0,4	75	97	12,9	6,0	4,2
0,3	76	100	13,0	7,3	4,2
0,2	76	100	13,3	7,1	4,6
0,1	75	100	12,8	7,7	5,2
0,05	84	100	13,9	7,9	5,3
0,01	82	100	13,1	7,4	4,5
0,005	84	100	13,4	7,2	4,0
0,001	87	100	14,2	7,3	5,0
0,0005	87	100	14,4	7,2	5,2
0,0001	75	100	12,9	5,8	4,0
0,00005	72	100	13,1	6,0	4,5
0,00001	72	100	13,3	6,2	4,2
HCP 05			0,1	1,4	1,4

Исследования показали, что ФМЛ обладает избирательной эффективностью в зависимости от культуры.

В опыте наблюдалось положительное влияние фитомелатонина на биометрические показатели проростков растений. В вариантах опыта, с концентрацией раствора ФМЛ 0,05; 0,01; 0,0001% на культуре яровой пшеницы масса ростка составила 3,4-3,8 г соответственно, длина корешка — 14,1-14,9 см, длина ростка — 9,6-10,3 см, при соответствующих показателях в контролльном варианте — 2,7 г, 12,3 и 7,5 см соответственно. Все концентрации от 1 до 0,1% не оказали отрицательного влияния и были на уровне контролльного варианта.

Энергия прорастания в вариантах составила 64-65%, в контроле — 57%, лабораторная всхожесть составила, соответственно, 70-78% против 61% в контролльном варианте. Очевидно, угнетающие концентрации находятся выше уровня 1% раствора, однако мы не увидели целесообразности изучения таких высоких концентраций (табл. 1).

Определение биометрических показателей на растениях огурца выявило положительное влияние оптимальных концентраций на проростки.

Таблица 1. Результаты скрининговых испытаний фитомелатонина на яровой пшенице  
Table 1. Results of screening tests of phytomelatonin on spring wheat

Вариант опыта (концентрация раствора, %)	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Масса проростка, г	Длина корешка, см	Длина ростка, см
Контроль	95	100	2,7	12,3	7,5
1	95	100	2,6	12,2	7,5
0,9	95	100	3,0	12,1	8,1
0,8	95	100	2,4	12,0	8,2
0,7	95	100	2,7	12,5	8,3
0,6	96	100	2,7	12,4	8,4
0,5	96	100	2,9	12,8	8,5
0,4	96	100	2,7	12,8	8,4
0,3	97	100	2,3	12,9	8,6
0,2	96	100	2,4	12,3	8,5
0,1	99	100	2,9	12,4	7,6
0,05	100	100	3,4	14,1	9,6
0,01	100	100	3,5	14,9	10,3
0,005	100	100	2,6	11,0	9,1
0,001	100	100	3,3	13,3	9,3
0,0005	100	100	3,2	12,7	8,6
0,0001	99	100	3,8	14,2	9,9
0,00005	99	100	2,82	12,3	7,5
0,00001	99	100	2,65	12,3	8,0
HCP 05			0,1	1,4	1,4

Таблица 3. Результаты скрининговых испытаний фитомелатонина на сое  
Table 3. Results of phytomelatonin screening tests on soy

Вариант опыта (концентрация раствора, %)	Энергия прорастания, %	Лабораторная всхожесть, %	Масса проростка, г	Длина корешка, см	Длина ростка, см
Контроль	57	61	16,4	4,9	5,3
1	55	61	16,6	4,6	5,4
0,9	53	60	16,1	4,8	5,5
0,8	55	59	16,2	4,3	4,8
0,7	54	62	17,0	4,6	4,1
0,6	55	62	16,1	4,5	5,1
0,5	57	60	16,9	4,1	4,9
0,4	54	61	16,6	5,0	4,8
0,3	55	58	16,8	4,7	5,7
0,2	55	61	16,8	5,4	5,2
0,1	58	65	16,1	5,8	4,7
0,05	64	70	18,1	6,1	5,7
0,01	55	63	17,4	5,7	4,8
0,005	60	68	17,2	6,0	4,7
0,001	65	78	18,5	7,2	6,0
0,0005	65	74	17,7	7,8	5,9
0,0001	58	61	17,0	4,2	5,1
0,00005	58	62	17,2	5,0	6,0
0,00001	57	63	17,1	4,1	6,1
HCP 05			0,1	1,4	1,4





Масса проростков составила в опытных вариантах 13,9–14,4 г, длина корешка — 7,2–7,9 см, длина ростка — 5,0–5,3 см. В контрольном варианте — 13,2 г, 6,8 и 4,2 см соответственно (табл. 2).

На культуре сои масса проростков составила в оптимальных вариантах 17,7–18,1 г, длина корешка — 6,1–7,8 см, длина ростка — 5,7–6,0 см. В контрольном варианте эти показатели составили 16,4 г, 4,9 и 5,3 см соответственно (табл. 3).

#### Обсуждение результатов исследований.

Исследования ФМЛ в классических моделях, которые используются в физиологии растений, необходимы для выяснения роли и механизма его действия. Актуальность таких опытов не подвергается сомнениям, так как до сих пор не подтверждено его действие как самостоятельного регулятора роста растений. До сих пор нет достоверных фактических исследований ФМЛ как фактора, опосредующего активность других веществ, влияющих на рост растений, или как вещества, участвующего в регуляции роста, но активность которого обычно приписывается другим соединениям.

Несомненно, рассматриваемые преимущества ФМЛ: природное происхождение, низкая токсичность, относительная дешевизна, маленький размер молекулы, легко проникающей в клетку, сильные антиоксидантные свойства, делают его очень заманчивым веществом для широкого использования в сельском хозяйстве [5, 7].

Качество семенного материала является основным условием, определяющим хороший урожай. Поиск эффективных методов улучшения посевного материала путем внесения биостимуляторов в семена до сих пор является важнейшей проблемой. Различные предпосевные обработки семян эффективно борются с болезнями и вредителями, а также повышают жизнеспособность семян и силу всходов как таковых [7–9]. Все они основаны на контролируемом увлажнении семян. Эти методы могут сочетаться с другими вспомогательными факторами, такими как аэрация, световое облучение, температурная стертификация. Протравливание семян также можно сочетать с применением регуляторов роста и других биологически активных веществ [8].

В результате серии скрининговых испытаний нами были получены обнадеживающие результаты возможности использования ФМЛ в качестве биостимулятора для предпосевной обработки семян.

Для препарата фитомелатонин на культуре яровой пшеницы были выявлены оптимальные концентрации, которые составили: 0,05; 0,01 и 0,0001%. При использовании этих концентраций были получены самые высокие показатели энергии прорастания, массы проростков и длины корешков и проростков. При концентрации раствора 0,0001% энергия прорастания повысилась на 5%; масса проростков — на 1,12 г или на 28%. Длина корешка и длина ростка показали самый высокий результат при обработке семян с концентрацией раствора 0,01%

и составили 14,9 и 10,3 см, что на 2,6 и 2,8 см или 27 и 39% соответственно выше.

На культурах сои и огурца оптимальными концентрациями оказались 0,05; 0,001 и 0,0005%. В вариантах с этими концентрациями нами были получены высокие биометрические показатели проростков (длина корешка и ростка), всхожесть и энергия прорастания. На сое в вариантах с обработкой семян ФМЛ в дозах 0,05; 0,001 и 0,0005% были получены самые высокие показатели всхожести и энергии прорастания, которые составили 64–65 и 70–78%, что на 7–8 и 11–18% выше контрольного варианта соответственно. В варианте с использованием концентрации ФМЛ 0,001% масса проростков была выше на 2,1 г или на 12,8%. Самые высокие прибавки при измерении биометрических показателей проростков были получены в варианте с концентрацией 0,0005%. Величины длины проростков и корешков были выше на 2,9 см или 59%, чем в контрольном варианте, и на 0,7 см или 13% соответственно.

Такая же тенденция сохранилась при обработке семян огурца. Энергия прорастания в этих вариантах возросла на 10–13%. Масса проростков была выше на 9% при обработке семян ФМЛ с концентрацией 0,0005%. Длина корешка и ростка были самыми высокими в варианте с концентрацией раствора 0,05% и составили 7,9 и 5,3 см, что на 2 и 1,3 см или 33 и 32% выше контрольного варианта.

Отмечалось также значительное увеличение образования боковых корней и корневых волосков, что позволяет значительно увеличить площадь поглощения корневой системы проростков.

Исследования показали, что фитомелатонин обладает избирательной эффективностью в зависимости от культуры. Концентрации препарата выше 0,05–1% не оказала угнетающего действия на проростки всех культур. Мы не рассматривали целесообразность изучения высоких концентраций.

**Заключение.** В результате проведенных нами исследований был определен диапазон оптимальных концентраций для обработки семян ФМЛ, который составил для культуры яровой пшеницы 0,05; 0,01 и 0,0001%; для сои и огурца — 0,05; 0,001 и 0,0005%. В вариантах с этими концентрациями были получены высокие биометрические показатели проростков (длина корешка и ростка), всхожесть и энергия прорастания. Было отмечено значительное увеличение образования боковых корней и корневых волосков, что позволяет значительно увеличить площадь поглощения корневой системы проростков.

Достоверно установлено, что фитомелатонин обладает избирательной эффективностью в зависимости от культуры. Концентрации препарата выше 0,05–1% не оказали угнетающего действия на проростки всех культур. Таким образом можно констатировать тот факт, что ФМЛ является перспективным веществом, как самостоятельным регулятором прорастания семян, так и компонентом для создания полифункциональных агрохимикатов.

#### Информация об авторах:

**Шаповал Ольга Александровна**, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3375-527X>, shapoval.olga@yandex.ru  
**Мухина Мария Тимофеевна**, кандидат биологических наук, заведующая лабораторией испытаний элементов агротехнологий, агрохимикатов и пестицидов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6210-592X>, mtmasm@mail.ru

#### Information about the authors:

**Olga A. Shapoval**, doctor of agricultural sciences, chief researcher, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3375-527X>, shapoval.olga@yandex.ru  
**Maria T. Mukhina**, candidate of biological sciences, head of the laboratory of testing elements of agricultural technologies, agrochemicals and pesticides, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6210-592X>, mtmasm@mail.ru

#### Список источников

1. Arnao, M. B., Hernández-Ruiz, J. (2018). Melatonin and its relationship with plant hormones. *Ann. Bot.*, 121: 195–207.
2. Hattori, A., Migitaka, H., Iigo, M., Yamamoto, K., Ohtani-Kaneko, R., Hara, M., Suzuki, T., Reiter, R.J. (1995). Identification of melatonin in plants and its effects on plasma melatonin levels and binding to melatonin receptors in vertebrates. *Biochem. Mol. Biol. Int.*, 35: 627–634.
3. Posmyk, M.M., Janas, K.M. (2009). Melatonin in plants. *Acta Physiol. Plant.*, 31: 1–11.
4. Tan, D.X., Hardeland, R., Manchester, L.C., Korkmaz, A., Ma, S., Rosales-Corral, S., Reiter, R.J. (2012). Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. *Exp. Bot.*, 63 (2): 577–597.
5. Ахмад И., Чжу Г., Чжоу Г., Сонг Х., Хусейн Ибрагим М.Э., Ибрагим Салих Г. Влияние N на рост, антиоксидантную способность и содержание хлорофилла в сорго // Агрономия. 2022. № 12. С. 501.
6. Баджва В.С., Шукла М.Р., Шериф С.М., Марч С.Дж., Саксена П.К. Роль мелатонина в смягчении холодового стресса у *rabidopsis thaliana* // *Pineal Res.* 2014. № 56. С. 238–245.
7. Гонсалес Гусман М., Челлини Ф., Фотопулос В., Балестрини Р., Арбона В. Новые подходы к повышению устойчивости сельскохозяйственных культур к биотическим и абиотическим стрессам // Физиология. Растение. 2022. 174: e13547.
8. Дахал К., Кейн К., Гадапати У., Уэбб Э., Савич Л.В., Сингх Дж. и др. Влияние фенотипической пластичности на показатели фотосинтеза у озимой ржи, озимой пшеницы и *brassica napus* // Физиология. Растение. 2012. 144: 169–188.
9. Шибаева Т.Г., Марковская Е.Ф., Мамаев А.В. Фитомелатонин: учебное пособие. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. 51 с.

#### References

1. Arnao, M. B., Hernández-Ruiz, J. (2018). Melatonin and its relationship with plant hormones. *Ann. Bot.*, 121: 195–207.
2. Hattori, A., Migitaka, H., Iigo, M., Yamamoto, K., Ohtani-Kaneko, R., Hara, M., Suzuki, T., Reiter, R.J. (1995). Identification of melatonin in plants and its effects on plasma melatonin levels and binding to melatonin receptors in vertebrates. *Biochem. Mol. Biol. Int.*, 35: 627–634.
3. Posmyk, M.M., Janas, K.M. (2009). Melatonin in plants. *Acta Physiol. Plant.*, 31: 1–11.
4. Tan, D.X., Hardeland, R., Manchester, L.C., Korkmaz, A., Ma, S., Rosales-Corral, S., Reiter, R.J. (2012). Functional roles of melatonin in plants, and perspectives in nutritional and agricultural science. *Exp. Bot.*, 63 (2): 577–597.
5. Ахмад, И., Чжу, Г., Чжоу, Г., Сонг, Х., Хусейн Ибрагим, М.Э., Ибрагим, Салих, Г. Влияние N на рост, антиоксидантную способность и содержание хлорофилла в сорго [Effect of N on growth, antioxidant capacity and chlorophyll content of sorghum]. *Agronomy*, no. 12, p. 501.
6. Badzha, V.S., Shukla, M.R., Sherif, S.M., March, S.Dzh., Saksena, P.K. (2014). Роль мелатонина в смягчении холодового стресса у *rabidopsis thaliana* [The role of melatonin in mitigating cold stress in *rabidopsis thaliana*]. *Pineal Res.*, no. 56, pp. 238–245.
7. Gonsales Gusman, M., Chellini, F., Fotopoulos, V., Balestrini, R., Arbona, V. (2022). Novye podkhody k povysheniyu ustoichivosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur k bioticheskim i abioticheskim stressam [New approaches to increasing the resistance of agricultural crops to biotic and abiotic stresses]. *Physiology. Plant.*, 174: e13547.
8. Дахал, К., Кейн, К., Гадапати, У., Уэбб, Э., Савич, Л.В., Сингх, Дж., и др. (2012). Влияние фенотипической пластичности на показатели фотосинтеза у озимой ржи, озимой пшеницы и *brassica napus* [The influence of phenotypic plasticity on photosynthesis rates in winter rye, winter wheat and *brassica napus*]. *Physiology. Plant.*, 144: 169–188.
9. Шибаева, Т.Г., Марковская, Е.Ф., Мамаев, А.В. (2018). *Fitomelatonin: uchebnoe posobie* [Phytomelatonin: textbook]. Petrozavodsk, Karelian Research Center RAS, 51 p.