

ПРИМЕНЕНИЕ МЕЛАТОНИНА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О.А. Шаповал, д.с.-х.н., М.Т. Мухина, к.б.н., Р.А. Боровик, к.б.н.,
ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», e-mail: elgen@mail.ru
127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а

Изучали проблемы повышения урожайности яровой пшеницы с использованием мелатонина. Мелатонин – фитогормон естественного происхождения, обладающий ауксиноподобной структурой и сходным механизмом действия. В проведенном эксперименте изучено влияние различных доз и способов мелатонина на рост, развитие и урожайность яровой пшеницы сорта Тризо. Показана способность мелатонина стимулировать кущение и прирост вегетативной массы после обработки растений в фазе кущения растворами с низкой концентрацией. Обнаружено, что независимо от способа, доз и сроков применения мелатонина наблюдается увеличение массы семян, что положительно отражается на биологической урожайности яровой пшеницы.

Ключевые слова: мелатонин, яровая пшеница, фитогормоны, регуляторы роста.

Для цитирования: Шаповал О.А., Мухина М.Т., Боровик Р.А. Применение мелатонина для повышения продуктивности яровой пшеницы в условиях Московской области// Плодородие. – 2024. - №3. – С. 35-38.

DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-35-38. EDN: FSRNIO.

Актуальным направлением современных исследований является, с одной стороны, снижение затрат на производство продукции, с другой, повышение адаптивного потенциала агроценозов за счёт внедрения новых инновационных технологий, включающих средства химизации, в состав которых входят не только удобрения содержащие макро- и микроэлементы, но и фитогормоны, гуминовые и фульвокислоты, аминокислоты, ультрамикроэлементы. Среди новых перспективных веществ внимание исследователей привлекает мелатонин.

Мелатонин был открыт у млекопитающих в 1958 г. и только 30 лет спустя его обнаружили в одноклеточной водоросли, а в 1993 г. – в высших растениях. С тех пор были проведены исследования количественного содержания мелатонина во многих растениях и в настоящее время известно, что мелатонин присутствует практически во всех организмах, населяющих планету – от прокариот до эукариот, и от животных до растений. Универсальная представленность мелатонина у высших растений и его высокие концентрации в них, в отличие от животных организмов, привели к тому, что в 2004 г. был предложен термин «фитомелатонин» [1].

В первые годы после его открытия в растениях исследования сосредоточили на физиологических функциях, сходных с теми, которые, как известно, мелатонин выполняет у животных. Таким образом, одной из первых задач была демонстрация его возможного участия в качестве хронорегуляторной молекулы в фотоморфогенных процессах, таких как цветение. Еще одно интересное направление разработано в Канаде. К 2000 г. были определены этапы пути биосинтеза фитомелатонина, которые сходны с таковыми у животных. Установлено, что мелатонин может действовать как ауксин в клеточных культурах *in vitro* из-за химического сходства между молекулами мелатонина и индол-3-уксусной кислоты (IAA).

В 2004 г. с использованием этиолированных гипокотилей люпина (*Lupinus albus* L.) было впервые

продемонстрировано, что мелатонин оказывает стимулирующее действие на рост и его стимулирующий потенциал был оценен в 63% по отношению к эффекту ИУК.

Мелатонин по своей молекулярной структуре сходен с ИУК - наиболее распространённым природным ауксином, стимулирующим рост растений. Обе молекулы имеют индольное кольцо, но различаются числом замещающих групп. Ауксиноподобная активность мелатонина нашла экспериментальное подтверждение. Мелатонин в низких концентрациях может стимулировать рост растений в длину, а в высоких концентрациях оказывает ингибирующее действие. Это было установлено в опытах на этиолированных гипокотилеях люпина и колеоптилях нескольких злаков: пшеницы, овса, ячменя, канареечника [1-3]. Исследование различных концентраций мелатонина (0,01–100 мкМ) показало, что эффект зависит от дозы и является видоспецифичным. Это связано, как предполагают авторы, с разной интенсивностью его поглощения. В некоторых работах обращено внимание на влияние мелатонина на различные ростовые показатели у растений [4-7] и во многих случаях ростостимулирующее действие мелатонина на надземную часть растений сходно с действием ИУК [4, 5]. Рядом исследователей отмечается роль мелатонина в устойчивости растений к абиотическим стрессам.

На сегодняшний день нет результатов полевых испытаний, подтверждающих влияние мелатонина на урожайность растений. Полученные данные относятся в основном к лабораторным и эпизодическим исследованиям.

Имеются данные о гормональных зависимостях доз-ответ мелатонина в субклеточных функциях животных. Несмотря на гораздо более короткую историю развития у растений, была выявлена тенденция к гормональному ответу растений на различные дозы мелатонина. В ряде экспериментов после обработки семян 0, 1, 10 или 100 мкМ мелатонином в присутствии дистиллированной

воды, 0,5 мм Cu^{2+} или 1 мм Cu^{2+} 121, наблюдалась типичная обратная U-образная зависимость от дозы [7].

Цель исследования - определить оптимальные концентрации мелатонина при его применении для повышения урожайности яровой пшеницы.

Методика. Исследование проводилось в вегетационный период 2021-2022 г. на опытных полях Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии (г. Домодедово, мкр. Барыбино, Московская обл.).

Климат Московской области умеренно-континентальный со среднегодовой температурой воздуха около 4°C. Среднегодовые температуры воздуха понижаются с юго-запада (4,6 °C) к востоку и северо-востоку (–6,0 °C). Длительность периода с положительными температурами около 215 дней. Среднегодовое количество атмосферных осадков 550–600 мм. По многолетним наблюдениям, в микрорайоне Барыбино среднегодовая температура воздуха 3,3 °C, а среднегодовое количество осадков 500 – 600 мм. Лето умеренно-тёплое с колебаниями среднесуточной температуры воздуха от 13 °C в июне до 22,8 °C в июле, среднесуточная температура в холодный период (январь, февраль) составляет –8...–17,8 °C. Гидротермический коэффициент 1,3-1,4.

Метеорологические условия весеннего периода 2021 г. благоприятно сказались на всхожести яровой пшеницы. Фаза кущения проходила в относительно хороших условиях: температурный режим во II и III декадах июня характеризовался умеренно-тёплыми условиями с достаточным количеством влаги. Среднемесячная температура в июне 22,3 °C, количество осадков 155 мм. Июль характеризовался умеренно-тёплыми температурами с выпадением осадков, что практически соответствует среднемноголетним значениям. В III декаде августа наступила полная спелость зерна, преобладала тёплая погода с умеренным увлажнением. Погодные условия 2022 г. отличались повышенными среднемесячными температурами (июнь-август) относительно многолетних, а также значительно сниженным (на 135 %) количеством осадков относительно среднемноголетних данных. Температура воздуха в среднем за вегетацию (апрель-сентябрь) в 2022 г. составила 14,3°C, что на 0,2 °C выше среднемноголетних данных. Следует отметить, что температура воздуха в начале вегетации большинства культур (апрель-май) была значительно ниже среднемноголетних значений – на 1,4-3,2 °C, что замедлило темпы прогрева почвы и сместило сроки посадки/посева в среднем на 10-15 дней. Начальный период вегетации сопровождался обильными осадками, превышающими среднемноголетние значения на 4,5-24,5 мм, что в совокупности оказало общее негативное влияние на рост и развитие большинства культур.

Почва опытного поля слабокультуренная дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, подстилающая порода – покровная глина. Агрохимическая характеристика: реакция почвенной среды (рН) среднекислая, содержание подвижного фосфора – среднее, обменного калия – среднее, органического вещества – низкое, суммы поглощённых оснований – повышенное (табл. 1).

Испытуемая культура – яровая пшеница, сорт Тризо. Включен в Госреестр селекционных достижений, допущенных к использованию в 2004 г. Сорт интенсивного типа с высокими адаптивными свойствами. Ценная пшеница.

1. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка перед началом проведения исследований

Показатель	Значение	Метод
pH _{кол.} , ед.	4,8	ГОСТ 26483-85
N _{общ.} , %	0,09	ГОСТ 26107-84
P ₂ O ₅ подвижный, мг/кг	60	ГОСТ Р 54650-2011
K ₂ O подвижный, мг/кг	100	ГОСТ Р 54650-2011
Орг. в-во по Тюрину, %	1,8	ГОСТ 26213-91
Молибден подвижный, мг/кг	0,11	ГОСТ Р 50689-94
Бор подвижный, мг/кг	0,27	ГОСТ Р 50688-94
Медь подвижная, мг/кг	4,4	ГОСТ Р 50684-94
Марганец, мг/кг	46	ГОСТ Р 50685-94
Цинк, мг/кг	2,1	ГОСТ Р 50686-94

Мелкоделяночный опыт заложен по следующей схеме:

Контроль (К).

Предпосевная обработка семян мелатонином, концентрация рабочего раствора 0,001%, расход рабочего раствора – 10 л/т (далее – **Сем. 0,001%**).

Опрыскивание растений раствором мелатонина с концентрацией 0,0003% в фазе полных всходов, расход рабочего раствора 300 л/га (далее – **Всх. 0,0003%**).

Опрыскивание растений раствором мелатонина с концентрацией 0,01% в фазе полных всходов, расход рабочего раствора 300 л/га (далее – **Всх. 0,01%**).

Опрыскивание растений раствором мелатонина с концентрацией 0,0003% в фазе кущения, расход рабочего раствора 300 л/га (далее – **Куш. 0,0003%**).

Опрыскивание растений раствором мелатонина с концентрацией 0,01% в фазе кущения, расход рабочего раствора 300 л/га (далее – **Куш. 0,01%**).

Предпосевная обработка семян мелатонином, концентрация рабочего раствора 0,001%, расход рабочего раствора – 10 л/т; опрыскивание растений раствором мелатонина с концентрацией 0,0003% в фазе кущения, расход рабочего раствора 300 л/га (далее – **Сем.+ Куш. 0,0003%**).

Предпосевная обработка семян мелатонином, концентрация рабочего раствора 0,001%, расход рабочего раствора – 10 л/т; опрыскивание растений раствором мелатонина с концентрацией 0,01% в фазе кущения, расход рабочего раствора 300 л/га (далее – **Сем.+ Куш. 0,01%**).

Площадь 1 м², повторность 4-кратная. Расположение опытных делянок рандомизированное. Посев пшеницы сорта Тризо проводили 26.05.2021 г. и 10.05.2022 г. Норма высева семян - 5,5 млн шт/га, глубина посева 3 см. 07.07.2021 г. и 22.07.2022 г. (фаза выхода в трубку) проводили подкормку карбамидом из расчёта 60 кг д.в/га. Обработку растений по вегетации растворами мелатонина проводили в безветренную сухую погоду в утренние часы с использованием ручного пульверизатора, согласно схеме опыта. Даты обработки – 10 и 30 июня 2021 г., 25 июня и 12 июля 2022 г. В период вегетации осуществляли обработку пестицидами.

Схема обработки пестицидами яровой пшеницы приведена ниже.

Наименование пестицида	Норма
2,4-Д + флорасулам (300 г/л + 6,25 г/л)	0,5 л/га
Трибенурон-метил (750 г/кг)	0,01 кг/га
Дифеноконазол + пропиконазол (150 г/л + 150 г/л)	0,4 л/га
Антидот клоквинтосет-мексил + клонинафоп-пропаргил (20 г/л + 80 г/л)	0,4 л/га
Альфа-циперметрин (100 г/л)	0,1 л/га
Топаз, КЭ	1 мл/3 л (опрыскивание до полного смачивания)

При достижении пшеницей полной спелости проводили измерение высоты растений, массы соломы, определяли элементы структуры урожая (коэффициенты кущения, параметры колоса), массу 1000 зёрен, натуру зерна, содержания белка в зерне методом Кельдаля (ГОСТ 10846-91). Также определяли биологическую урожайность. Уборку опыта проводили 07 сентября 2021 г. и 17 августа 2022 г.

Математическую обработку полученных данных проводили с использованием табличного процессора MS Office Excel 2019.

Результаты и их обсуждение. Для корректной оценки влияния мелатонина на рост и развитие пшеницы требуется комплексный анализ биометрических параметров растений (табл. 2). Необходимо рассматривать линейные размеры растений и их частей в увязке и их массой и количеством. Проведённые замеры биометрических показателей в рамках полевого опыта показали наличие выраженного положительного эффекта после обработки пшеницы мелатонином.

Так к моменту полного созревания наибольшая и статистически значимая высота растений отмечалась в вариантах с обработкой 0,01%-ным раствором мелатонина по всходам и в фазе кущения.

Достоверный прирост массы соломы по сравнению с контролем (4,8 г) отмечен в варианте с обработкой 0,01%-ным раствором мелатонина по всходам – 344,0 г/м² и в вариантах с обработкой 0,0003%-ным раствором в фазе кущения – 363,8-365,9 г/м².

На фоне обработки пшеницы 0,0003%-ным раствором мелатонина в фазе кущения отмечается достоверное увеличение коэффициента кущения до 1,9-2,0 и продуктивного кущения до 1,8-1,9 при значении на контроле 1,2 и 1,1 соответственно.

2. Биометрические параметры яровой пшеницы сорта Тризо в фазе полной спелости (в среднем за 2021-2022 г.) (среднее ± стандартное отклонение)

Вариант	Высота растений, см	Масса воздушно-сухой соломы, г/м ²	Коэффициент кущения	Коэффициент продуктивного кущения
Контроль (б/о)	50,8±3,2	216,0±24,5	1,2±0,2	1,1±0,1
Сем.0,001%	50,3±4,3	279,6±32,9	1,3±0,3	1,4±0,3
Всх.0,0003%	46,9±2,9	269,6±28,8	1,4±0,2	1,3±0,2
Всх.0,01%	60,1±2,8	344,0±48,5	1,5±0,2	1,2±0,2
Куш.0,0003%	51,2±3,1	363,8±76,8	2,0±0,1	1,8±0,4
Куш.0,01%	58,9±3,9	286,0±23,6	1,1±0,1	1,3±0,4
Сем.+Куш.0,0003%	57,8±2,9	365,9±47,1	1,9±0,2	1,9±0,4
Сем.+Куш.0,01%	54,4±2,4	259,4±26,2	1,4±0,3	1,5±0,3
НСР ₀₅	5,4	71,1	0,4	0,5

Обработка пшеницы по вегетации мелатонином не оказала выраженного влияния на размеры и озёрненность колоса (табл. 3). Длина колоса в среднем по опыту составила 5,5-5,9 см, а число зёрен с 1 колоса варьировало. Все варианты опыта значимо не отличались от контроля.

Обработка мелатонином положительно влияла на зерно пшеницы. Так во всех вариантах отмечено достоверное увеличение средней массы зёрен с 1 колоса по сравнению с контролем.

Аналогичный положительный эффект от применения мелатонина отмечен по массе 1000 семян. Все опытные варианты достоверно превышали контроль по этому показателю.

3. Параметры колоса яровой пшеницы сорта Тризо (среднее ± стандартное отклонение)

Вариант	Длина колоса, см	Число зерен на 1 колосе	Масса зёрен с 1 колоса, г	Масса 1000 семян, г
К	5,5±0,4	12,8±1,4	1,14±0,04	34,5±1,7
Сем.0,001%	5,6±0,1	11,3±0,4	1,24±0,04	39,8±1,3
Всх.0,0003%	5,7±0,5	13,2±0,9	1,23±0,04	40,1±0,9
Всх.0,01%	5,9±0,4	11,9±0,3	1,24±0,04	39,9±0,6
Куш.0,0003%	5,8±0,3	12,4±0,7	1,22±0,06	40,0±1,0
Куш.0,01%	5,6±0,4	13,0±0,6	1,22±0,02	41,1±2,7
Сем.+Куш.0,0003%	5,7±0,3	12,9±1,2	1,25±0,02	42,7±1,1
Сем.+Куш.0,01%	5,6±0,3	13,8±1,3	1,24±0,06	41,7±0,1
НСР _{0,5}	0,6	1,6	0,04	2,3

Обработка вегетирующих растений мелатонином оказала положительное влияние на биологическую урожайность яровой пшеницы (табл. 4). Биологическая урожайность в опытных вариантах колебалась. Самая высокая прибавка была в варианте, где растения опрыскивали мелатонином в фазе полных всходов с концентрацией 0,0003%.

Содержание белка в зерне – один из важнейших показателей его качества. В целом зерно, полученное с опытных растений, имеет высокое содержание белка – от 15,8 до 16,4%. Значимых различий между контролем и вариантами опыта не обнаружено.

Средние показатели натуры зерна были в интервале 634,5-668,3 г/л. Достоверные различия по вариантам опыта не обнаружены.

4. Биологическая урожайность и качество урожая яровой пшеницы сорта Тризо (среднее ± стандартное отклонение)

Вариант	Урожайность, г/м ²	Прибавка урожая к контролю, г/м ²	% к контролю	Натура, г/л	Содержание белка, %
К	514±23	–	–	640,6±28,2	16,1±0,1
Сем.0,001%	550±13	36	7,0	639,6±11,8	16,2±0,4
Всх.0,0003%	594±13	80	15,6	634,5±12,3	15,8±0,1
Всх.0,01%	571±21	57	11,1	664,2±17,9	15,8±0,05
Куш.0,0003%	564±27	40	9,7	664,1±35,9	16,0±0,3
Куш.0,01%	557±6	43	8,4	639,3±28,0	16,4±0,3
Сем.+Куш.0,0003%	593±35	79	15,4	668,3±12,0	16,4±0,2
Сем.+Куш.0,01%	581±12	67	13,0	662,8±8,0	16,0±0,5
НСР _{0,5}	16	–	–	36,2	0,5

Анализируя полученные данные, следует отметить наличие выраженного влияния от применения мелатонина для обработки семян и растений по вегетации на интенсивность роста вегетативной массы пшеницы, а также на процессы образования зерна. Обработка пшеницы по вегетации растворами высокой концентрации – 0,01% приводит главным образом к вытягиванию растений в длину, что выражается в увеличении высоты растений. Меньшая концентрация рабочего раствора – 0,0003%, очевидно, стимулирует кущение и образование новых побегов, что выражается в увеличении коэффициентов кущения и массы соломы. Интенсивность эффекта зависит от фазы обработки – наиболее ярко выраженное стимулирование роста пшеницы отмечено в вариантах, где опрыскивание проводили в фазе кущения. Более ранняя обработка по полным всходам позволила получить значимый прирост вегетативной массы только при

использовании рабочего раствора с концентрацией мелатонина 0,01%

Другой важный аспект действия мелатонина – способность увеличивать массу зерна. Прибавка массы получена во всех вариантах опыта. При этом можно отметить, что большая масса 1000 зёрен отмечена в вариантах с более поздним сроком обработки.

Стимуляция роста и увеличение массы зерна выразились в увеличении урожайности яровой пшеницы. Достоверная прибавка урожая по отношению к контролю получена во всех вариантах опыта. При этом не отмечено увеличения натурности зерна и содержания в нём белка.

Заключение. Измерение высоты растений и массы соломы в опыте показало достоверно положительную динамику при обработке вегетирующих растений мелатонином. К моменту полного созревания наибольшие и статистически значимые значения высоты растений отмечались в вариантах с обработкой 0,001%-ным, а массы соломы в вариантах с обработкой 0,0003%-ным раствором. При этом больший эффект наблюдался при более поздней обработке. Прирост массы соломы связан, по-видимому, со стимуляцией кушения мелатонином.

Обработка пшеницы раствором мелатонина положительно сказалась на массе семян. Все варианты обработки позволили увеличить среднюю массу зёрен с 1

колоса и массу 1000 зёрен. Незначительно больший эффект наблюдался в вариантах, где обработка растворами мелатонина проводилась в фазе кушения.

За счёт увеличения интенсивности кушения, нарастания вегетативной массы и увеличения массы зерна повысилась биологическая урожайность яровой пшеницы с 514 г/м² на контроле до 550-594 г/м², или на 7,0-15,6%.

Литература

1. Шиббаева Т. Г., Марковская Е. Ф., Мамаев А. В. Фитомелатонин: Обзор // Журнал общей биологии. - Т 78. - 2017. - № 5. - С. 46-62.
2. Hernandez-Ruiz J., Cano A., Arnao M. B., Melatonin: a growth-stimulating compound present in lupin tissues // Planta. 2004. V. 220. № 1. P. 140-144.
3. Hernandez-Ruiz J., Arnao M.B. Melatonin stimulates the expansion of etiolated lupin cotyledons // Plant Growth Regulation. 2008. V. 55. № 1. P. 29-34.
4. Kolar J., Johnson C. H., Machackova. Presence and possible role of melatonin in a short-day flowering plant, *Chenopodium rubrum* // Adv. Exp. Med. Biol. 1999. V. 460. P.391-393.
5. Kolar J., Machackova I., Eder J., Prinsen E., Dongen W, van, Illnerova H., Melatonin occurrence and daily rhythm in *Chenopodium rubrum* // Phytochemistry. 1997. V. 44. № 8. P. 1407-1413.
6. Arnao M. B., Hernandez-Ruiz J. The physiological function of melatonin in plants // Plant Signal. Behav. 2006. V. 1. № 3. P. 89-95.
7. Arnao M. B., Hernandez-Ruiz. Melatonin promotes adventitious - and lateral root regeneration in etiolated hypocotyls of *Lupinus albus* L. // J. Pineal Res. 2007. V. 42. № 2. P. 147-152.

APPLICATION OF MELATONIN TO INCREASE THE PRODUCTIVITY OF SPRING WHEAT IN THE MOSCOW REGION

O.A. Shapoval, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher

M.T. Mukhina, Head of the Department of Testing Growth Regulators of Plant and Agrochemicals and Pesticides

R.A. Borovik, Researcher at the Laboratory of Testing Elements of Agrotechnologies, Agrochemicals,

Growth Regulators of Plant and Pesticides

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova str., 31A, 127550, Moscow, Russia, e-mail: elgen@mail.ru

The article is devoted to the study of the problem of increasing the yield of spring wheat using melatonin. Melatonin is a naturally occurring phytohormone with an auxin-like structure and a similar mechanism of action. In the experiment, the effect of different dosages of melatonin and methods of application on the growth, development and yield of spring wheat variety Trizo was studied. The ability of melatonin to stimulate tillering and the growth of vegetative mass after treating plants with low concentration solutions during the tillering phase has been shown. It was also found that, regardless of the method, dosage and timing of application, the use of melatonin is accompanied by an increase in seed weight, which had a positive effect on the biological yield of spring wheat.

Keywords: melatonin, spring wheat, phytohormones, growth regulators.

УДК 633.521; 631.811

EDN: JEOPPV

DOI: 10.24412/1994-8603-2024-3138-38-44

ВЛИЯНИЕ АЗОТА И БОРА НА ДИНАМИКУ НАКОПЛЕНИЯ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ ЛЬНОМ-ДОЛГУНЦОМ

**Ю.Е. Гусева, к.б.н., ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет –
МСХА им. К.А. Тимирязева»**

127434, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49,

E-mail: uguseva@rgau-msha.ru

**Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках
Программы стратегического академического лидерства "Приоритет-2030"**

Изучено влияние азота и бора на динамику накопления макроэлементов льном-долгунцом. Установлено содержание сухого вещества и элементов питания в культуре по фазам роста и развития. Определены коэффициенты использования из почвы макроэлементов, азота из удобрений. Установлено, что наибольший суточный ритм поглощения азота, фосфора и калия льном-долгунцом происходит в фазе активного роста, опережая при этом накопление органической массы, причем при внесении азота среднесуточное потребление макроэлементов значительно возрастает.

Ключевые слова: лен-долгунец, азот, фосфор, калий, бор.