https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-40

BY 4.0
Check for updates

МРНТИ: 34.31.25

Г.Т. Доланбаева*, К.О. Богданова[1], В.Н. Николаева[2], С.К. Кабдрахманова[1]
[1]Satbayev University,
050013, Республика Казахстан, г. Алматы, ул. Каныша Сатпаева, 22
[2]Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,
070002, Республика Казахстан, г. Усть-Каменогорск, ул. 30-й Гвардейской дивизии, 34
*e-mail: saia_26@mail.ru

ПОЛУЧЕНИЕ ЭНДОГЕННОГО БИОСТИМУЛЯТОРА ФУЗИКОКЦИНА: СПОСОБ ВЫДЕЛЕНИЯ, АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Аннотация: *Разработка экологически безопасных биостимуляторов для повышения устойчивости сельскохозяйственных культур к абиотическим и биотическим стрессам является актуальной задачей. В данной статье представлены результаты исследований по разработке технологии получения и применения фитогормона фузикокцина (FC) из семян пшеницы (Triticum aestivum L.). Проведена комплексная оценка семи сортов яровой пшеницы на устойчивость к патогенам (гельминтоспориоз, альтернариоз, головня) и абиотическим стрессам (засоление, засуха, температурные экстремумы, защелачивание, избыточное увлажнение). Выделены наиболее устойчивые сорта («Саратовская», «Алтай», «Ульбинка 25»), показавшие высокую всхожесть и энергию прорастания в стрессовых условиях. Разработана и оптимизирована методика выделения FC, включающая индукцию стресса в семенах, экстракцию этанолом, очистку методом обратно-фазовой высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и количественное определение с помощью спектрофотометрии. Валидация метода подтвердила его высокую воспроизводимость ($R^2 > 0.998$) и стабильность. Полученные результаты демонстрируют потенциал использования фузикокцина, полученного из доступного растительного сырья, в качестве эффективного биостимулятора для предпосевной обработки семян с целью повышения урожайности и стрессоустойчивости пшеницы.*

Ключевые слова: *пшеница, фузикокцин, биостимуляторы, абиотический стресс, фитопатология, жидкостная хроматография, предпосевная обработка семян, стрессоустойчивость.*

Введение

Устойчивое развитие мирового сельского хозяйства в условиях нарастающих климатических изменений, деградации почв и необходимости обеспечения продовольственной безопасности требует разработки инновационных и экологически сбалансированных агроприемов [1]. Особую актуальность приобретают стратегии, направленные на повышение внутреннего (эндогенного) потенциала растений к сопротивлению абиотическим (засуха, засоление, экстремальные температуры) и биотическим (патогены, вредители) стрессам на наиболее уязвимых начальных этапах онтогенеза – прорастания семян и развития всходов [2, 3].

В этом контексте одним из перспективных направлений является использование природных биостимуляторов – соединений, которые в малых дозах активируют метаболические процессы, усиливают стрессоустойчивость и, как следствие, повышают продуктивность сельскохозяйственных культур без негативного воздействия на окружающую среду [2-4]. Среди широкого спектра биологически активных веществ особый интерес представляют фитогормоны, выполняющие ключевые регуляторные функции. В отличие от классических гормонов (ауксины, цитокинины, гиббереллины), фузикокцин (FC) долгое время рассматривался преимущественно как микотоксин гриба *Fusicoccum amygdali* [5]. Однако современные данные свидетельствуют о его эндогенном синтезе в тканях высших растений, где он играет уникальную роль в качестве мощного активатора плазматической H^+-АТФазы – «протонного насоса» клеточной мембраны [6].

©Г.Т. Доланбаева, К.О. Богданова, В.Н. Николаева, С.К. Кабдрахманова, 2026

Активация H^+-АТФазы под действием FC приводит к гиперполяризации мембранного потенциала, закислению апопласта и созданию движущей силы для вторичного активного транспорта ионов (K^+, Ca^{2+}, NO_3^-) и питательных веществ. Это фундаментальное свойство определяет многогранное физиологическое действие FC: от регуляции устьичных движений и роста клеток растяжением до модуляции ответа на стресс. Экзогенное применение FC усиливает устойчивость растений к засухе за счет улучшения водного статуса и активации синтеза абсцизовой кислоты, к засолению – за счет поддержания ионного гомеостаза и осморегуляции, а также индуцирует экспрессию генов патогенез-родственных белков (PR-белков), повышая резистентность к грибковым и бактериальным инфекциям [7, 8].

Несмотря на доказанную высокую биологическую активность, широкое практическое применение FC в агрономии сдерживается ограниченностью и высокой стоимостью источников его получения (традиционно-культуры фитопатогенных грибов) [5]. В связи с этим, поиск альтернативных, рентабельных и возобновляемых источников FC является актуальной научно-практической задачей. Перспективным направлением представляется выделение FC из массовых сельскохозяйственных культур, в частности пшеницы (*Triticum aestivum L.*) [7, 8]. Практически не изучено влияние предпосевных стрессовых воздействий на семенной материал с целью индукции синтеза или мобилизации эндогенных пулов FC как стратегии повышения качества сырья для его последующего выделения.

Целью данного исследования была разработка научных основ технологии получения биостимулятора на основе фузикокцина из семян пшеницы для предпосевной обработки. Для этого были поставлены следующие задачи: провести сравнительный фитопатологический анализ и оценку посевных качеств семян различных сортов яровой пшеницы; изучить реакцию сортов пшеницы на комплекс модельных абиотических стрессов (засоление, засуха, температурные шоки, защелачивание, гипоксия) с оценкой энергии прорастания, всхожести и ростовых параметров; на основе скрининга выделить наиболее перспективные сорта-кандидаты для использования в качестве сырья для получения FC; разработать и валидировать методику выделения, очистки и количественного определения FC.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовались семена семи широко распространенных в Казахстане сортов яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum L.*): Алтай, ГВК, Наргиз, Саратовская, Улан 43, Ульбинка 25 и Уралосибирская. Семенной материал был предоставлен семеноводческими хозяйствами Восточно-Казахстанской области и соответствовал категории репродукционных семян.

Для проведения фитопатологического анализа, стресс-индукции, экстракции и хроматографического анализа использовали: этанол (96% и 80%), воду дистиллированную; трифторуксусная кислота (TFA, 99%), ацетонитрил (99.9%), метанол (99.9%), хлорид натрия (ч.д.а.), сахароза (ч.д.а.), гидроксид натрия (ч.д.а.), активированный уголь, бентонитовую глину; стандартный образец фузикокцина (Sigma-Aldrich, ≥95%); фильтровальную бумагу ФС.

Фитопатологический анализ семян проведён биологическим методом проращивания в рулонах фильтровальной бумаги [9]. Учёт результатов проводили на 3-й и 7-й день под бинокулярной лупой (увеличение x16). Определяли зараженность тремя основными грибковыми заболеваниями: гельминтоспориоз (*Bipolaris sorokiniana*), **Ошибка! Источник ссылки не найден.**альтернариоз (*Alternaria* spp.), головня (*Ustilago/Tilletia spp.*).

Процент зараженности (X, %) рассчитан по формуле:

$$X = (N1 / N) \times 100 \qquad (1)$$

где N1 – количество зараженных семян,

N – общее количество семян (400 шт.).

Энергию прорастания и лабораторную всхожесть семян определяли по ГОСТ 12038-84 [10]. Подсчёт нормально проросших семян проводили на 3-и сутки (энергия прорастания) и на 7-е сутки (всхожесть). Все эксперименты проводили в двух временных сериях (август и сентябрь 2024 г.). Статистическую обработку выполняли с использованием t-критерия Стьюдента ($p < 0,05$).

Моделирование абиотических стрессов проведена для изучения реакции сортов на стресс и индукции биосинтеза FC, семена подвергали контролируемым стрессовым воздействиям в течение 48 часов. Для каждого сорта и типа стресса использовали три биологические повторности по 100 семян. Моделировали следующие условия:

1. контроль: стандартные лабораторные условия (температура 22°C, влажность 60%).
2. замачивание: полное погружение в стерильную дистиллированную воду (22°C);
3. засоление: раствор NaCl (400 мМ);
4. защелачивание: раствор с pH 9.0 (NaOH);
5. осмотический стресс: раствор сахарозы (осмотический потенциал -0.5 Мпа);
6. низкотемпературный стресс: выдерживание при температуре -4...-10°C;
7. высокотемпературный стресс: инкубация при +45°C.

После воздействия семена промывали, подсушивали и оценивали их жизнеспособность. Проращивание проводили в рулонах фильтровальной бумаги с оценкой энергии прорастания (4-й день) и окончательной всхожести (8-й день). Для оценки ростовой активности отбирали 20 проростков из каждой группы, измеряли общую длину растения, длину ростка и корней, подсчитывали количество корней.

Для выделения FC был использован сортовой материал («Саратовская», «Алтай»). Отобранные семена подвергали стресс-индукции замачиванием в воде (48 ч). Высушенные до воздушно-сухого состояния семена измельчали на лабораторной мельнице. Гомогенат (100 г) экстрагировали 200 мл 80% этанола (соотношение 1:2, масса/объем) в течение 24 часов при комнатной температуре на магнитной мешалке. Экстракт центрифугировали (5000 g, 15 мин). Надосадочную жидкость очищали на колонке (30 х 2 см) с комбинированным сорбентом (активированный уголь: бентонитовая глина, 1:1). Несорбируемые примеси отмывали 10% этанолом (200 мл), целевые соединения элюировали 50% этанолом (150 мл). Фракцию упаривали на ротационном испарителе (40°C) и ресуспендировали в 5 мл 50% метанола [11].

Анализ и очистку проводили на системе Agilent 1260 Infinity II с DAD-детектором. Колонка: Zorbax Eclipse Plus C18 (150 х 4.6 мм, 5 мкм). Подвижная фаза: (А) вода с 0.1% TFA (pH 4.0), (В) ацетонитрил. Градиент: 0-5 мин – 10% В; 5-25 мин – линейный рост до 90% В; 25-30 мин – 90% В; 30-35 мин – возврат к 10% В. Скорость потока 0,8 мл/мин, температура колонки – 30°C, объем пробы – 20 мкл, детекция при 220 нм и 254 [12].

Более детальные параметры хроматографического анализа и спектрофотометрической валидации представлены в онлайн-приложении к статье (Supplementary Material S1).

Метод ВЭЖХ валидирован по параметрам линейности, предела обнаружения (LOD) и количественного определения (LOQ) [1313]. Калибровочные кривые строили по методу внешнего стандарта в диапазоне 1 - 50 мкг/мл. Уравнения линейной регрессии рассчитывали методом наименьших квадратов. Статистическую обработку проводили с использованием ANOVA ($p < 0,05$) и post-hoc теста Тьюки в программе OriginPro 2022 [11].

Результаты и обсуждение исследований

Исходная фитопатологическая экспертиза выявила присутствие комплекса грибных патогенов во всех семи сортах (табл. 1). Наиболее распространенными были возбудители гельминтоспориозной корневой гнили и альтернариоза. Сорта «Саратовская», «Ульбинка 25» и «Уралосибирская» показали наименьший уровень комплексной зараженности (4.75-6.83%) и наибольший процент здоровых семян (93.17-95.00%). Высокие показатели энергии прорастания (92-96%) и лабораторной всхожести (95-98%) в оптимальных условиях зафиксированы у сортов «Алтай», «Улан 43» и «Ульбинка 25».

Таблица 1 – Сводные результаты фитопатологического анализа и оценки всхожести семян пшеницы (данные за август-сентябрь 2024 г.)

Сорт	Зараженность, % (суммарная)	Здоровые семена, %	Энергия прорастания, % (контроль)	Всхожесть, % (контроль)
Алтай	10.58 – 11.50	88.50 – 89.42	92.5 – 93.0	97.5 – 98.0
ГВК	12.25 – 14.25	85.75 – 87.75	76.0 – 80.0	78.0 – 81.5
Наргиз	8.08 – 8.16	91.83 – 91.92	88.0 – 89.0	90.0 – 91.0
Саратовская	4.75 – 5.25	94.00 – 94.75	75.0 – 76.3	77.0 – 80.0
Улан 43	4.75 – 8.50	91.50 – 95.25	95.5 – 96.0	97.4 – 98.0
Ульбинка 25	5.00 – 5.90	94.17 – 95.00	92.0 – 93.5	95.0 – 95.5
Уралосибирская	5.16 – 6.83	93.17 – 94.83	83.2 – 84.0	83.5 – 85.0

Примечание: различия между сортами достоверны при $p < 0,05$ (ANOVA).

Реакция сортов на моделируемые стрессовые факторы носила выраженный дифференциальный характер (рис. 1, табл. 2). Сорт «Алтай» проявил себя как универсально стресс-толерантный генотип, сохранив всхожесть на уровне 90-99% при всех типах стресса, кроме осмотического (90%). Сорт «Саратовская» подтвердил устойчивость к засолению и защелачиванию, но оказался чувствительным к дефициту воды. Сорта «ГВК» и «Уралосибирская» идентифицированы как наиболее стресс-чувствительные.

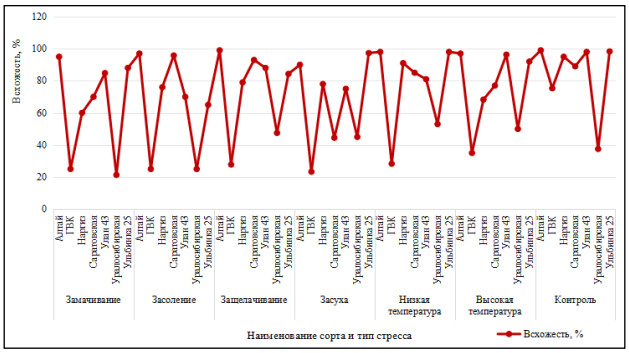


Рисунок 1 – Всхожесть семян различных сортов пшеницы после 48-часового воздействия абиотическими стрессорами (засуха моделировалась осмотическим стрессом – 0.5 МПа)

Таблица 2 – Сравнительная оценка устойчивости сортов к ключевым стрессам на основе всхожести и ростовых параметров

Критерий / Сорт	Алтай	Саратовская	Ульбинка 25	ГВК (наименее устойчивый)
Устойчивость к засолению	Высокая (97%)	Высокая (95.8%)	Средняя (65%)	Низкая (25%, гибель 30.6%)
Устойчивость к осмотич. стрессу (засуха)	Высокая (90%)	Низкая (44.5%)	Очень высокая (97.3%)	Низкая (23.3%)
Устойчивость к защелачиванию	Высокая (99%)	Высокая (93%)	Высокая (84.3%)	Низкая (27.8%)
Термоустойчивость (высокие t°)	Высокая (97%)	Средняя (77%)	Высокая (92%)	Низкая (35%)
Минимальная задержка роста при стрессе	+++	++ (кроме засухи)	++	---

Примечание: +++ – минимальная задержка, --- – максимальная задержка роста. Различия достоверны при p <0,01.

На основании этих данных для последующего выделения FC выбраны сорта «Алтай» (универсальная устойчивость) и «Саратовская» (устойчивость к ионному стрессу). Предпосевное замачивание (стресс-индукция), применено для потенцирования физиологических процессов, ведущих к аккумуляции защитных метаболитов, включая FC [8].

Разработанная схема downstream-обработки семян пшеницы представлена на рисунке 2 (ключевые этапы: стресс-индукция → экстракция → первичная очистка → ВЭЖХ-анализ). Детальное описание параметров ВЭЖХ и спектрофотометрической валидации вынесено в онлайн-приложение (Supplementary Material S1).

На хроматограмме (рис. 3) идентифицирован пик FC с временем удерживания 18,5 мин, характеризующийся высокой интенсивностью, симметричной формой (коэффициент асимметрии 1,05) и хорошим разрешением от соседних пиков.

Построение калибровочных кривых (рис. 4) в диапазоне 1-50 мкг/мл продемонстрировало отличную линейность: при 220 нм $y = 0,0207x + 0,0295$ ($R^2 = 0,998$), при 254 нм $y = 0,0197x + 0,0194$ ($R^2 = 0,999$). LOD и LOQ составили ≈0,3 мкг/мл и 1,0 мкг/мл соответственно. Воспроизводимость метода (относительное стандартное отклонение) составила менее 5% (CV <5%).

Для сравнения групп использовали однофакторный ANOVA с последующим post-hoc тестом Тьюки. Различия между контрольными и стресс-обработанными образцами признаны статистически значимыми при $p < 0,05$. Стандартная ошибка среднего (SEM) для всех показателей не превышала 5%.

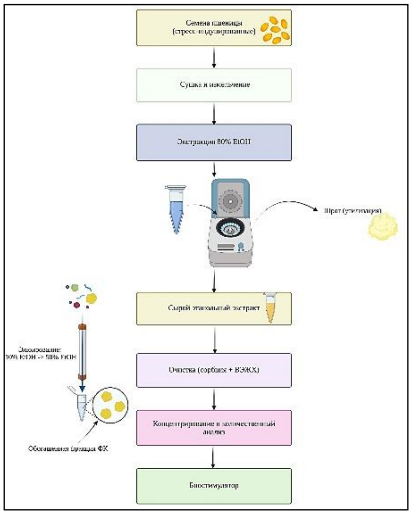
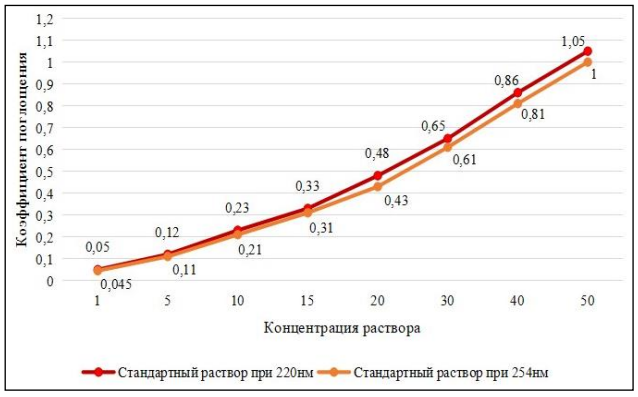


Рисунок 2 – Схема методики выделения и анализа фузикокцина из семян пшеницы



Рисунок 3 – Репрезентативная хроматограмма этанольного экстракта семян пшеницы (сорт Алтай) при детекции 220 нм. Пик 1 соответствует фузикокцину (tR = 18.5 мин)



При 220 нм: y = 0.0207x + 0.0295; R^2 = 0.998
При 254 нм: y = 0.0197x + 0.0194; R^2 = 0.999

Рисунок 4 – Калибровочная кривая фитогормона фузикокцина

Представленная технология имеет ряд ограничений. Выход FC зависит от сезонных и почвенно-климатических условий выращивания пшеницы, что может влиять на воспроизводимость результатов. Масштабирование процесса с лабораторного уровня (100 г сырья) до промышленного требует оптимизации параметров экстракции и хроматографической очистки (замена препаративной ВЭЖХ на более производительные методы, например, жидкостную экстракцию под давлением). Экономическая эффективность технологии должна быть подтверждена расчётами себестоимости получаемого биостимулятора в сравнении с импортными аналогами. Перспективными направлениями дальнейших исследований являются: автоматизация процесса выделения, создание стандартизированной формы препарата и проведение полевых испытаний на различных сельскохозяйственных культурах.

Выводы

Таким образом, исследован способ получения биостимулятора на основе эндогенного фузикокцина из семян пшеницы. Комплексный подход позволил сформулировать следующие выводы:

1. Выделены перспективные генотипы-доноры. В результате фитопатологического скрининга и оценки стресс-толерантности семи сортов яровой пшеницы идентифицированы сорта «Саратовская», «Алтай» и «Ульбинка 25», характеризующиеся минимальной зараженностью (4.75-11.50%) и высокой устойчивостью к абиотическим стрессам. Это делает их оптимальным сырьем для накопления FC.

2. Обоснован прием стресс-индукции. Предпосевное замачивание семян (48 ч) активирует физиологические пути ответа на стресс, что способствует мобилизации пулов защитных фитогормонов, включая FC, и создает основу для увеличения выхода целевого продукта.

3. Разработана и валидирована аналитическая платформа для выделения и контроля FC. Впервые для семян пшеницы предложена схема downstream-обработки: экстракция 80% этанолом, очистка методом ВЭЖХ на колонке C18 (ацетонитрил-вода, 0.1% TFA, pH 4.0), количественное определение при 220 нм. Метод линеен в диапазоне 1-50 мкг/мл ($R^2 > 0.998$) и пригоден для анализа FC в сложной растительной матрице.

4. Создана научно-методическая основа для получения биостимулятора. Работа предоставляет законченный технологический контур: от отбора стресс-толерантного сырья через оптимизированную экстракцию к стандартизированному анализу. Разработанная методология позволяет создать отечественный биостимулятор для предпосевной обработки семян, повышающий всхожесть и устойчивость проростков к засухе и засолению.

Исследование вносит вклад в физиологию стресса и прикладную биотехнологию. Для завершения технологической цепочки необходимы масштабирование процесса и полевые испытания.

Список литературы

1. Эндогенные фиторегуляторы роста: свойства, физиологическое действие и практическое использование / А.П. Волынец и др. Волынца. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 232 с.
2. Synthesis, characterization and biological studies of coordination compounds of silver complex of succinic acid / S. Kabdrakhmanova et al // Materials Today: Proceedings. – 2023. https://orcid.org/10.1016/j.matpr.2023.04.342.
3. Growth Stimulating and Fungicidal Properties of Succinic Acid Complexes with Silver, Copper and Boron Ions During Pre-Sowing Treatment of Soybean Seeds / S.K. Kabdrakhmanova et al // Engineered Science. – 2023. – Vol. 26, № 973. https://orcid.org/10.30919/es973.
4. Fungicidal and Stimulating Effects of Heteroleptic Copper Complex on the Germination and Phytosafety of Plants / S. Kabdrakhmanova et al // Journal of Composites Science. – 2023. – Vol. 7, № 308. https://orcid.org/10.3390/jcs7080308.
5. The Surprising Story of Fusicoccin: A Wilt-Inducing Phytotoxin, a Tool in Plant Physiology and a 14-3-3-Targeted Drug / M. Marra et al // Biomolecules. – 2021. – Vol. 11, № 9. – P. 1393. https://orcid.org/10.3390/biom11091393.
6. De Boer A.H. The fusicoccin story revisited / A.H. De Boer // Journal of Experimental Botany. – 2024. – Vol. 75, № 18. – P. 5531-5546. https://orcid.org/10.1093/jxb/erae300.
7. Plant-derived natural products as a new class of biostimulants: towards sustainable agriculture A. de Zélicourt et al // Natural Product Reports. – 2021. – Vol. 38, № 11. – P. 2027-2048. https://orcid.org/10.1039/D1NP00025A.
8. Fusicoccin-induced cell elongation and endogenous fusicoccin-like ligands in germinating seeds / O.V. Antipova et al // Plant Physiology and Biochemistry. — 2019. — Vol. 141. – P. 218-226. https://orcid.org/10.1016/j.plaphy.2019.05.025.
9. ГОСТ 12044-93. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями. – М.: Стандартинформ, 2011. – 10 с.
10. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М.: Стандартинформ, 2011. – 40 с.
11. Чучалин В.С. Технология получения максимально очищенных препаратов: учеб. пособие / В.С. Чучалин, Н.В. Келус, В.В. Шейкин. – Томск: Изд-во СибГМУ, 2019. – 87 с.
12. Хроматографические методы очистки белков: учеб.-метод. пособие / А.Н. Ибрагимов и др. – Казань: КФУ, 2020. – 52 с.

13. Шаповалова Е.Н. Хроматографические методы анализа: метод. пособие для спецкурса / Е.Н. Шаповалова, А.В. Пирогов. – М.: Изд-во МГУ, 2018. – 210 с.
14. Пат. 23810 Республика Казахстан, МПК A01N 43 40. 63/00, 63/04. Способ получения фузикокцинового суперфитостимулятора для вегетативного размножения растений / С.А. Ибрагимова и др. – № 2010/0536.1; заявл. 27.04.10; опубл. 15.01.13, Бюл. № 1.

References

1. Ehndogennye fitoregulyatory rosta: svoistva, fiziologicheskoe deistvie i prakticheskoe ispol'zovanie / A.P. Volynets i dr. Volyntsa. – Minsk: Belaruskaya navuka, 2019. – 232 s. (In Russian).
2. Synthesis, characterization and biological studies of coordination compounds of silver complex of succinic acid / S. Kabdrakhmanova et al // Materials Today: Proceedings. – 2023. https://orcid.org/10.1016/j.matpr.2023.04.342. (In English).
3. Growth Stimulating and Fungicidal Properties of Succinic Acid Complexes with Silver, Copper and Boron Ions During Pre-Sowing Treatment of Soybean Seeds / S.K. Kabdrakhmanova et al // Engineered Science. – 2023. – Vol. 26, № 973. https://orcid.org/10.30919/es973. (In English).
4. Fungicidal and Stimulating Effects of Heteroleptic Copper Complex on the Germination and Phytosafety of Plants / S. Kabdrakhmanova et al // Journal of Composites Science. – 2023. – Vol. 7, № 308. https://orcid.org/10.3390/jcs7080308. (In English).
5. The Surprising Story of Fusicoccin: A Wilt-Inducing Phytotoxin, a Tool in Plant Physiology and a 14-3-3-Targeted Drug / M. Marra et al // Biomolecules. – 2021. – Vol. 11, № 9. – R. 1393. https://orcid.org/10.3390/biom11091393. (In English).
6. De Boer A.H. The fusicoccin story revisited / A.H. De Boer // Journal of Experimental Botany. – 2024. – Vol. 75, № 18. – P. 5531-5546. https://orcid.org/10.1093/jxb/erae300. (In English).
7. Plant-derived natural products as a new class of biostimulants: towards sustainable agriculture A. de Zélicourt et al // Natural Product Reports. – 2021. – Vol. 38, № 11. – P. 2027-2048. https://orcid.org/10.1039/D1NP00025A. (In English).
8. Fusicoccin-induced cell elongation and endogenous fusicoccin-like ligands in germinating seeds / O.V. Antipova et al // Plant Physiology and Biochemistry. — 2019. — Vol. 141. – P. 218-226. https://orcid.org/10.1016/j.plaphy.2019.05.025. (In English).
9. GOST 12044-93. Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya zarazhennosti boleznyami. – M.: Standartinform, 2011. – 10 s. (In Russian).
10. GOST 12038-84. Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti. – M.: Standartinform, 2011. – 40 s. (In Russian).
11. Chuchalin V.S. Tekhnologiya polucheniya maksimal'no ochishchennykh preparatov: ucheb. posobie / V.S. Chuchalin, N.V. Kelus, V.V. Sheikin. – Tomsk: Izd-vo SibGMU, 2019. – 87 s. (In Russian).
12. Khromatograficheskie metody ochistki belkov: ucheb.-metod. posobie / A.N. Ibragimov i dr. – Kazan': KFU, 2020. – 52 s. (In Russian).
13. Shapovalova E.N. Khromatograficheskie metody analiza: metod. posobie dlya spetskursa / E.N. Shapovalova, A.V. Pirogov. – M.: Izd-vo MGU, 2018. – 210 s. (In Russian).
14. Pat. 23810 Respublika Kazakhstan, MPK A01N 43 40. 63/00, 63/04. Sposob polucheniya fuzikoktsinovogo superfitostimulyatora dlya vegetativnogo razmnozheniya rastenii / S.A. Ibragimova i dr. – № 2010/0536.1; zayavl. 27.04.10; opubl. 15.01.13, Byul. № 1. (In Russian).

Финансирование

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR24993105).

Г.Т. Доланбаева[*], Қ.О. Богданова[1], В.Н. Николаева[2], С.К. Кабдрахманова[1]
[1]Satbayev University, 050013, Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы, Қ. Сәтбаев көшесі, 22
[2]Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті,
070002, Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, 30-Гвардиялық дивизия көшесі, 34
*e-mail: saia_26@mail.ru

ФУЗИКОКЦИННІҢ ЭНДОГЕНДІ БИОСТИМУЛЯТОРЫН АЛУ: БӨЛІНУ ТӘСІЛІ, ТИІМДІЛІГІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ БАҒАЛАУ

Ауыл шаруашылығы дақылдарының абиотикалық және биотикалық күйзеліске төзімділігін арттыру үшін экологиялық қауіпсіз биостимуляторларды әзірлеу өзекті міндет болып табылады. Осы бапта бидай тұқымынан (Triticum aestivum L.) фузикокцин (FC) фитогормонын алу және қолдану технологиясын әзірлеу жөніндегі зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Жаздық бидайдың жеті сортына патогендерге (гельминтоспориоз, альтернариоз, бастиек) және абиотикалық стресске (тұздану, құрғақшылық, температуралық экстремумдар, сілтілеу, артық ылғалдану) төзімділікке кешенді бағалау жүргізілді. Стрессті жағдайларда өнгіштігі мен өсу энергиясын жоғары көрсеткен неғұрлым орнықты сорттар («Саратов», «Алтай», «Ульбинка 25») бөлінген. Тұқымдардағы стресс индукциясын, этанолмен экстракцияны, жоғары тиімді сұйықтық хроматографиясының (ВЭЖХ) кері-фазалық әдісімен тазартуды және спектрофотометрияның көмегімен сандық анықтауды қамтитын FC бөлу әдістемесі әзірленіп, оңтайландырылды. Әдісті валидациялау оның жоғары жаңғыртылуын (R ²> 0.998) және тұрақтылығын растады. Алынған нәтижелер бидай шығымдылығы мен күйзеліске төзімділігін арттыру мақсатында тұқымдарды себу алдында өңдеу үшін тиімді биостимулятор ретінде қолжетімді өсімдік шикізатынан алынған фузикокцинді пайдалану әлеуетін көрсетеді.

Түйін сөздер: *бидай, фузикокцин, биостимуляторлар, абиотикалық стресс, фитопатология, сұйық хроматография, тұқымдарды себу алдында өңдеу, стресске төзімділік.*

G.T. Dolanbaeva[*], K.O. Bogdanova[1], V.N. Nikolaeva[2], S.K. Kabdrakhmanova[1]
[1]Satbayev University, 22 Satpayev str., Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan
[2]Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University,
34, 30th Guards Division, Ust-Kamenogorsk, 070002, Republic of Kazakhstan
*e-mail: saia_26@mail.ru

PRODUCTION OF ENDOGENOUS BIOSTIMULANT OF FUSICOCCIN: METHOD FOR ISOLATION, ANALYSIS AND EVALUATION OF EFFICACY

Developing environmentally friendly biostimulants to increase crop resistance to abiotic and biotic stresses is an urgent challenge. This article presents the results of research on the development of technology for the production and use of phytohormone fusicoccin (FC) from wheat seeds (Triticum aestivum L.). A comprehensive assessment of seven varieties of spring wheat for resistance to pathogens (helminthosporiosis, alternariosis, smut) and abiotic stresses (salinity, drought, temperature extremes, latching, excessive moisture) was carried out. The most stable varieties («Saratov», «Altai», «Ulbinka 25») were identified, which showed high germination and germination energy under stressful conditions. A technique for FC isolation was developed and optimized, including stress induction in seeds, ethanol extraction, purification by reverse phase high performance liquid chromatography (HPLC), and quantification by spectrophotometry. The method validation confirmed its high reproducibility (R ²> 0.998) and stability. The results obtained demonstrate the potential of using fusicoccin obtained from available plant raw materials as an effective biostimulant for pre-sowing treatment of seeds in order to increase yield and stress resistance of wheat.

Key words: *wheat, fusicoccin, biostimulants, abiotic stress, phytopathology, liquid chromatography, presowing treatment of seeds, stress resistance.*

Сведения об авторах

Гүлсайын Тойкенқызы Доланбаева* – докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, научный сотрудник лаборатории биологии и биотехнологии растений национальной научной лаборатории колективного пользования, Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан; e-mail: saia_26@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0049-1511.

Валентина Николаевна Николаева – научный сотрудник лаборатории биологии и биотехнологии растений национальной научной лаборатории колективного пользования, Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан; e-mail: valentina_nn23@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8887-7111.

Ксения Олеговна Богданова – докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, научный сотрудник лаборатории биологии и биотехнологии растений национальной научной лаборатории колективного пользования, Восточно-Казахстанский университет им. С. Аманжолова, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан; e-mail: bogdanova.xeniya@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9318-6155.

Сана Канатбековна Кабдрахманова – руководитель Международного Research & Development (R&D) центра передовых функциональных материалов и их композитов кафедры химических процессов и промышленной экологии Казахского национального исследовательского технического университета имени К. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан; e-mail: skabdrakhmanova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5760-2967.

Авторлар туралы мәліметтер

Гүлсайын Тойкенқызы Доланбаева* – Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, докторанты, ұжымдық пайдаланудағы ұлттық ғылыми зертхананың өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы зертханасының ғылыми қызметкері, Шығыс Қазақстан университеті С. Аманжолов, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: saia_26@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0049-1511.

Валентина Николаевна Николаева – Қазақстан Республикасы, Өскемен қаласы, С. Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, ұжымдық пайдалану ұлттық ғылыми зертханасының өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы зертханасының ғылыми қызметкері; e-mail: valentina_nn23@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8887-7111.

Ксения Олеговна Богданова – докторанты, Қ.И.Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, ұжымдық пайдаланудағы ұлттық ғылыми зертхананың өсімдіктер биологиясы және биотехнологиясы зертханасының ғылыми қызметкері, Шығыс Қазақстан университеті С. Аманжолов, Өскемен қ., Қазақстан Республикасы, e-mail: bogdanova.xeniya@mail.ru. Web of Science Researcher ID - GZM-3036-2022. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9318-6155

Сана Канатбековна Кабдрахманова – Қ. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, химиялық процестер және өнеркәсіптік экология кафедрасы Озық функционалды материалдар мен олардың композиттері Research & Development халықаралық орталығының жетекшісі, Алматы қаласы, Қазақстан Республикасы; e-mail: skabdrakhmanova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5760-2967.

Information about the authors

Gulsaiyn Toikenkyzy Dolanbayeva* – doctoral student, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Researcher, Laboratory of Plant Biology and Biotechnology, National Scientific Laboratory of Collective Use, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, city Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: saia_26@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0049-1511.

Valentina Nikolaevna Nikolaeva – Researcher at the Laboratory of Plant Biology and Biotechnology of the National Scientific Laboratory of Collective Use, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk, Republic of Kazakhstan; e-mail: valentina_nn23@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8887-7111.

Xeniya Olegovna Bogdanova – doctoral student, Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev, Researcher, Laboratory of Plant Biology and Biotechnology, National Scientific Laboratory of Collective Use, Sarsen Amanzholov East Kazakhstan University, Ust-Kamenogorsk city, Republic of Kazakhstan; e-mail: bogdanova.xeniya@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9318-6155.

Sana Kanatbekovna Kabdrakhmanova – Head of the International Research & Development (R&D) Center for Advanced Functional Materials and Their Composites, Department of Chemical Processes and Industrial Ecology, K. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Republic of Kazakhstan; e-mail: skabdrakhmanova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5760-2967.

Поступила в редакцию 30.03.2026
Поступила после доработки 05.06.2026
Принята к публикации 08.06.2026

https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-41

ҒТАХР: 65.59.29

CC BY 4.0
Check for updates

И.А. Махатова, А.У. Шингисов, А.Ж. Шиналиева*, Э.Т. Кансеитова, Г.Е. Коштаева
М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті,
160000, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5
*e-mail: ainur_09_09@mail.ru

КОНФИТЮР ЖЕМІС-ЖИДЕК-КӨКӨНІСТІ ДЕСЕРТІНІҢ АНТИОКСИДАНТТЫ ШИКІЗАТЫ МЕН РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Аңдатпа: *Мақалада өсімдік шикізатының физика-химиялық сипаттамаларын, антиоксиданттық қасиеттері мен реологиялық параметрлерін, сондай-ақ оның негізінде жасалған "конфитюр" жеміс-көкөніс-жидек десертін зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу барысында мүкжидек, итмұрын, таңқурай, қауын, қара өрік және апельсин сияқты жемістер мен жидектерді*

©И.А. Махатова, А.У. Шингисов, А.Ж. Шиналиева, Э.Т. Кансеитова, Г.Е. Коштаева, 2026