ЭКОБИОТЕХ

ISSN 2618-964X http://ecobiotech-journal.ru

УДК 581.1

CC BY

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ | RESEARCH ARTICLE

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ САЛИЦИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ИБУПРОФЕНА НА РАСТЕНИЯ ПШЕНИЦЫ НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА

Масленникова Д.Р.[1,2*], Газизова С.А.[2], Заманова Р.Ф.[2], Давлетшина Л.С.[2]

[1] Институт биохимии и генетики Уфимского Федерального исследовательского центра РАН, Уфа, Россия;
[2] Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия;
*E-mail: dishaoil@mail.ru

Аннотация

В данной работе был проведен сравнительный анализ влияния фитогормона салициловой кислоты (СК) и его структурного аналога — фармацевтического препарата ибупрофена (ИБУ) на ключевые физиолого-биохимические параметры растений пшеницы *Triticum aestivum* L., в оптимальных условиях и при засолении (100 мМ NaCl). Оценивали параметры роста, содержание пигментов, водный статус и уровень накопления пролина. Результаты показали, что СК и ИБУ оказывают сходный позитивный эффект на энергию прорастания семян, длину и биомассу проростков, как в нормальных, так и стрессовых условиях. Наблюдалась положительная корреляция между стимуляцией роста и улучшением состояния фотосинтетической системы под действием СК и ИБУ, что выражалось в повышении общего содержания пигментов. Как в оптимальных, так и стрессовых условиях оба вещества сходным образом регулировали водный гомеостаз растений. Вместе с тем обнаружено различие в модуляции биохимического ответа на засоление: СК оказалась более эффективной в снижении стресс-индуцированного накопления пролина. Данный результат свидетельствует о том, что исследуемые препараты, вероятно, вовлекают различные сигнальные каскады в регуляции адаптации растений к стрессу. Таким образом, полученные данные диктуют необходимость дальнейших исследований для идентификации компонентов сигнальных путей, опосредующих ИБУ-индуцированные реакции. Кроме того, наши данные свидетельствуют о перспективности использования структурных аналогов известных лекарственных средств, в качестве основы для создания новых, более эффективных препаратов для защиты растений от абиотических стрессов

Ключевые слова:

Triticum aestivum L., салициловая кислота, ибупрофен, пролин, относительное содержание воды, показатели роста, пигментный комплекс

Поступила в редакцию: 24.11.2025
Принято в печать: 05.02.2026

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF SALICYLIC ACID AND IBUPROFEN ON WHEAT PLANTS AT THE EARLY STAGES OF ONTOGENESIS

Maslennikova D.R.[1,2*], Gazizova S.A.[2], Zamanova R.F.[2], Davletshina L.S.[2]

[1] Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia;
[2] Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia;
*E-mail: dishaoil@mail.ru

Abstract

This study conducted a comparative analysis of the effects of the phytohormone salicylic acid (SA) and its structural analogue—the pharmaceutical drug ibuprofen (IBU)—on key physiological and biochemical parameters of wheat (*Triticum aestivum* L.) plants under both optimal conditions and salt stress (100 mM NaCl). Growth traits (seed germination energy, seedling length, and biomass), photosynthetic pigment content, water status, and proline accumulation level were evaluated. The results showed that SA and IBU exerted a similar positive effect on seed germination energy, seedling length and biomass under normal and stress conditions. Growth stimulation was positively correlated with the improvement of the photosynthetic system state under the influence of SA and IBU, which was expressed in an increase in total pigment content. Both compounds similarly supported water homeostasis in plants under optimal and stressful conditions. Simultaneously, a key difference was revealed in the modulation of the biochemical response to salinity: SA was more effective in reducing stress-induced proline accumulation. This result indicates that the investigated compounds likely involve different signaling cascades in regulating plant stress adaptation. Thus, the obtained data indicate the need for further research to identify the components of the signaling pathways mediating IBU-induced reactions.

Keywords:

Triticum aestivum L., salicylic acid, ibuprofen, proline, relative water content, growth indicators, photosynthetic pigments

Received: 24.11.2025
Accepted: 05.02.2026

Цитировать | Cite as

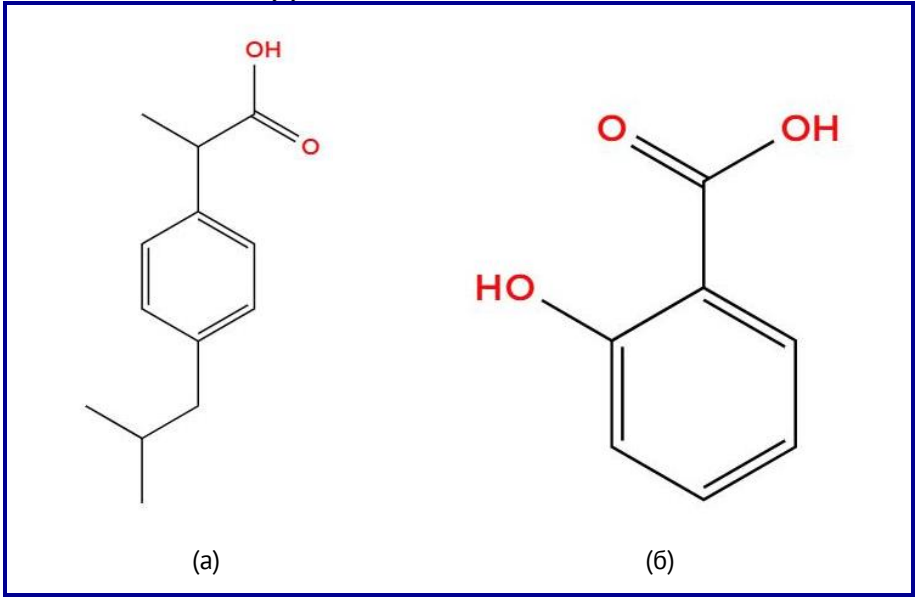
DOI: http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-4 EDN: https://www.elibrary.ru/mqdtgf

ВВЕДЕНИЕ

Пшеница (*Triticum aestivum* L.) является важнейшей пищевой и сельскохозяйственной культурой, которая играет ключевую роль в рационе человека, восполняя необходимые потребности в калориях [El-Hawary *et al.* 2023]. Поэтому использование регуляторов роста для повышения устойчивости и продуктивности этого продовольственного злака — одно из наиболее перспективных и актуальных направлений в современном растениеводстве. Среди широкого спектра подобных соединений особое место занимает нестероидный противовоспалительный препарат (НПВП) - салициловая кислота (СК). Этот фитогормон обладает антиоксидантными свойствами, а также играет ключевую роль в формировании устойчивости к стрессовым факторам биотической и абиотической природы [Kaya *et al.* 2023; Decsi *et al.* 2025]. Препараты на основе СК, такие как «Иммунакт-СК», «SalicylPure» и «Салибор», находят всё более широкое применение в агротехнологиях, поскольку их использование способствует активации защитных механизмов растений, а также увеличивает их продуктивность [Тарасов *и др.* 2023]. Примечательно, что СК послужила базой для создания современных агропрепаратов, а также стала прототипом для целого класса лекарственных средств, в частности, на основе её химической структуры был разработан ибупрофен (ИБУ) — 2-(4-изобутилфенил) пропионовой кислоты [Tan *et al.* 2020]. Наглядное изображение структурных формул СК и ИБУ представлены на (Рис. 1).

Рисунок 1. Структурная формула ибупрофена (а) и салициловой кислоты (б)

Figure 1. Structural formula of ibuprofen (a) and salicylic acid (б).



(а) (б)

На сегодняшний день существуют данные литературы, которые свидетельствуют в пользу способности ИБУ регулировать метаболизм растений. Применение препарата вызывает ингибирование жасмонат-опосредуемых реакций, путем регуляции, схожего по функциям с циклооксигеназой человека, активности липоксигеназы в растениях. В частности, это подтверждается экспериментами с опрыскиванием раствором 5 мМ ИБУ ягод земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.), а также внесением 10 мкМ ИБУ в среду проращивания семян риса (*Oryza sativa* L.) [Wu *et al.* 2022; Dai *et al.* 2023].

В наших предыдущих исследованиях выявлено, что обработка семян 100 мкМ ИБУ позитивно влияет на рост растений пшеницы. При этом обнаружено, что физиологической основой обнаруженных протекторных и ростостимулирующих эффектов являются НПВП-индуцированные изменения содержания салициловой кислоты (СК), баланса глутатиона и оксида азота (NO) [Maslennikova 2025; Maslennikova *et al.* 2025]. Для сравнительного анализа использовали 50 мкМ СК, поскольку именно эта доза, согласно нашим предыдущим работам [Shakirova et al. 2003; Maslennikova et al. 2024 a, b], является оптимальной для индукции аналогичных физиологических ответов у пшеницы. Таким образом, СК и ИБУ не только имеют сходную структурную формулу,

но и аналогичным образом регулируют метаболизм растений в концентрациях, сопоставимых с действием фитогормонов. Это делает актуальным проведение параллельного анализа реакций растений на воздействие этих препаратов. Поэтому, **цель работы** заключалась в проведении сравнительного анализа физиологических и протекторных эффектов, индуцированных обработкой СК и ИБУ. Для её достижения оценивалось влияние данных препаратов на ростовые параметры, содержание фотосинтетических пигментов, уровни гидратации и осмопротекции в растениях пшеницы в оптимальных условиях и при засолении.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были растения мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Экада 70. Эксперименты проводили в лабораторных условиях. Семена перед посевом стерилизовали в 96% этаноле в течение 1 мин, затем тщательно промывали в дистиллированной воде и после этого подсушивали.

Предварительно готовили 1 мМ стоковые растворы салициловой кислоты (СК) и ибупрофена (ИБУ). Далее их разбавляли дистиллированной водой для получения необходимых концентраций: 50 мкМ – для СК [Shakirova *et al.* 2003; Maslennikova *et al.* 2024a] и 100 мкМ – для ИБУ [Maslennikova 2025; Maslennikova *et al.* 2025]. Подготовленные семена пшеницы делили на 3 варианта: контроль, СК, ИБУ. Семена вариантов СК и ИБУ в течение 3 ч выдерживали в растворах ИБУ и СК, соответственно, а семена контрольного варианта – в дистиллированной воде. Далее семена (по 50 шт.) помещали в чашки Петри (d = 9 см) на бумагу, смоченную дистиллированной водой (10мл), или 100 мМ NaCl (10 мл). Семена проращивали в течение 4 суток в климатической камере (Спектр-15 КР, Россия) при температуре воздуха 21-23° С, относительной влажности 65 % и фотопериоде 16 ч (свет/темнота = 16/8 ч) при освещенности 320 мкмоль/(м^2·с) ФАР.

Энергию прорастания семян (количество выросших растений к общему количеству семян, выраженное в %) оценивали согласно ГОСТ 12038-84 [1986].

Линейные размеры проростков измеряли общепринятым способом с помощью линейки. Растения взвешивали на весах сразу после отбора (сырая биомасса) и после высушивания при 105 °С до постоянного веса (сухая биомасса).

Содержание фотосинтетических пигментов измеряли в надземной части проростков и выражали в мг/г сырой массы. Для этого побеги пшеницы (0,1 г) отделяли от корней и гомогенизировали в 10 мл 80%-ого ацетона. Гомогенат оставляли холодильнике на 40 ч, после чего фильтровали. Оптическую плотность полученных экстрактов измеряли с помощью многофункционального микропланшетного ридера EnSpire Model 2300 (PerkinElmer, США) при следующих длинах волн: 663 нм – для хлорофилла *a,* 646 нм – для хлорофилла *b* и 470 нм – для каротиноидов [Wellburn 1994]. Сумму фотосинтетических пигментов рассчитывали, как сумму хлорофилла *a* (хл *a*), хлорофилла *b* (хл *b*) и каротиноидов (Кар).

Относительное содержание воды в листьях (ОСВ) измеряли согласно методу [Sairam *et al.* 2002]. Для этого надземные части 5 растений отделяли от корней на уровне щитка и сразу же взвешивали для измерения сырого веса (FW). Далее эти побеги погружали основанием в дистиллированную воду, налитую в стеклянный сосуд, который затем закрывали для насыщения воздуха влагой и помещали в темноту на ночь. Затем листья взвешивали для определения тургорной массы (TW), далее листья высушивали при температуре 70° С в течение 48 часов и определяли сухой вес (DW). ОСВ рассчитывали по формуле: ОСВ (%) = (FW – DW)/(TW – DW) × 100.

Содержание пролина ($C_5H_9NO_2$) оценивали согласно [Bates *et al.* 1973] с модификациями [Калинкина 1985]. В пробирки добавляли целые растения (0,5 г) и кипящую воду (2,0 мл). Образцы помещали на водяную баню и кипятили в течение 30 мин. После этого пробирки вынимали и охлаждали. Экстракт (1 мл) смешивали с равным объемом раствора нингидрина ($C_9H_6O_4$) и ледяной уксусной кислоты (CH_3COOH). Затем образцы инкубировали при 100 °С в течение 1 ч и охлаждали в контейнере со льдом. Оптическую плотность растворов измеряли при 520 нм на спектрофотометре (SmartSpecTM Plus, Bio-Rad, США). Содержание пролина рассчитывали с использованием калибровочной кривой и выражали мкМ/г сырой массы.

Все физиологические и биохимические показатели измеряли в трех биологических и трех-четырех аналитических повторах. Опыты по оценке показателей роста проводили в трех – четырех биологических повторах, каждый вариант включал по 50 семян (растений).

На рисунках представлены средние значения и их стандартные ошибки. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета статистического анализа в Microsoft Office Excel 2007 и STATISTICA 10.0. Статистически значимые различия значений каждого показателя (с $P \leqslant 0,05$) на рисунках обозначены разными латинскими буквами.

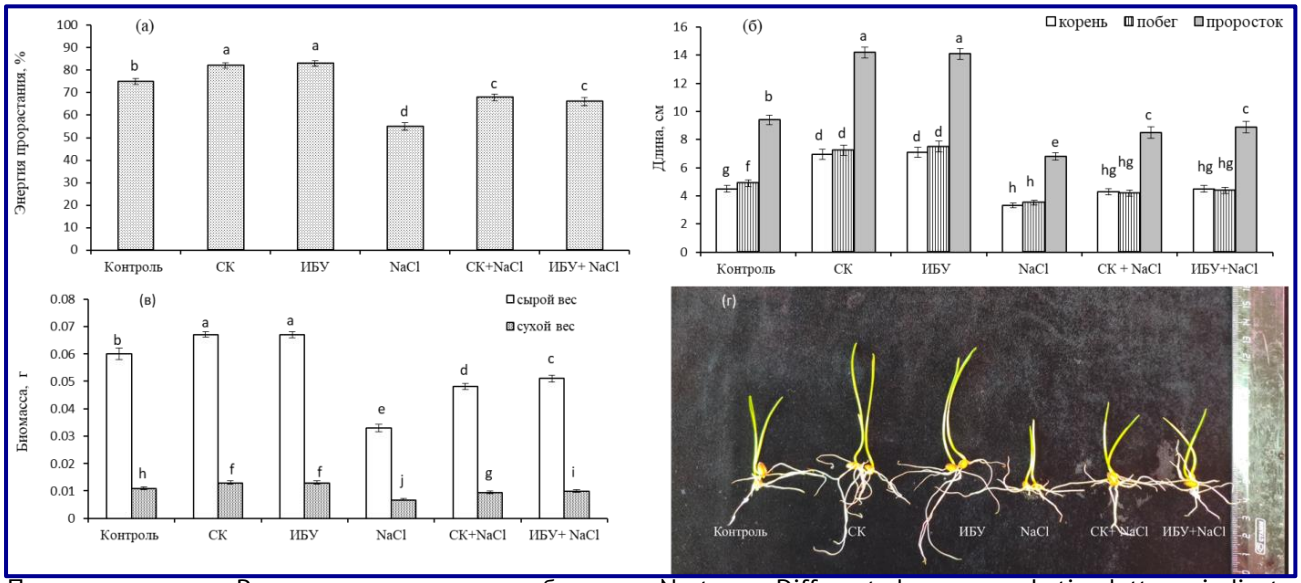
РЕЗУЛЬТАТЫ

В оптимальных условиях предобработка семян СК и ИБУ оказывала значительный стимулирующий эффект на ростовые показатели растений пшеницы. Так, по сравнению с контролем энергия прорастания у растений вариантов СК и ИБУ увеличилась на 9% и 11%, соответственно (Рис 2а). Длина растений увеличивалась равным образом — на 50–51% (Рис. 2б). В условиях засоления (NaCl) наблюдалось торможение роста пшеницы. В частности, по сравнению с контролем энергия прорастания снизилась на 27%, а длина растений — на 23%. Предобработка семян пшеницы СК и ИБУ существенно смягчила рост-ингибирующее действие засоления. У обработанных растений энергия прорастания и длина были лишь на 9–12% и 6–10% ниже, соответственно, чем у контрольных растений в оптимальных условиях (Рис. 2а, б).

Аналогичная тенденция наблюдалась для биомассы. В оптимальных условиях обработка препаратами привела к увеличению сырой массы на 12% и сухой массы на 18% (Рис. 2в). Засоление вызвало резкое снижение сырой массы на 45% и сухой — на 38% по сравнению с контролем. В стрессовых условиях (NaCl) предобработка СК позволила частично нивелировать потери: сырая и сухая масса были на 20% и 14% ниже контроля, соответственно. ИБУ проявил себя несколько эффективнее, ограничив снижение сырой и сухой массы до 15% и 10% (Рис. 2в). Наглядным подтверждением этих эффектов служат фотографии растений (Рис. 2г).

Рисунок 2. Влияние предпосевного замачивания семян в растворах 50 мкМ СК и 100 мкМ ИБУ на ростовые показатели 4-суточных растений пшеницы в оптимальных условиях и при засолении (100 мМ NaCl): энергия прорастания (а); длина (б); биомасса (в); фотография визуальной оценки растений (г)

Figure 2. Effect of seed pre-soaking in 50 μM CK and 100 μM IBU solutions on growth parameters of 4-day-old wheat seedlings under control conditions and salt stress (100 mM NaCl): germination energy (a); length (б); biomass (в); photograph of visual assessment of the seedlings (г)



Примечание: Разными латинскими буквами обозначены статистически значимые различия при $P \leqslant 0.05$.

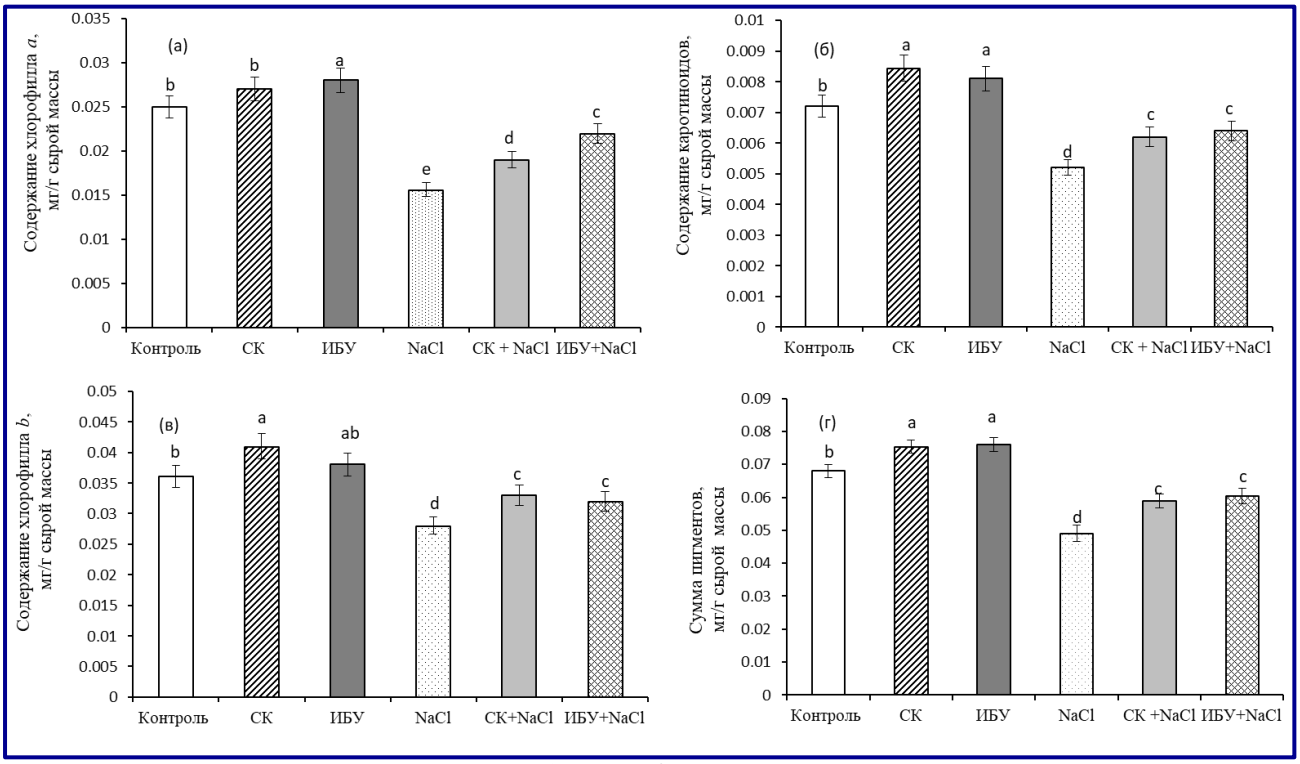
Notes: Different lowercase Latin letters indicate statistically significant differences at $P \leqslant 0.05$

Обработка НПВП оказала положительное влияние на пигментный комплекс растений в оптимальных условиях. При этом у варианта СК наблюдалось повышение по сравнению с контролем содержания Хл *b* (Рис. 3в) и Кар (Рис. 3б) на 14% и 17%, соответственно. Содержание Хл *a* не изменялось (Рис. 3а), а суммарный пул пигментов вырос на 11% (Рис. 3г). У варианта ИБУ

содержание Хл *a*, Хл *b*, Кар и суммарное содержание пигментов увеличилось по сравнению с контролем на 12%, 6%, 13% и 13%, соответственно (Рис. 3). Засоление (NaCl) вызывало резкое снижение синтеза пигментов, приводя к уменьшению содержания Хл *a* на 38%, Хл *b* – на 22% и Кар – на 28%, что привело к падению общего пула пигментов на 28% (Рис. 3). Предварительная обработка семян пшеницы препаратами в некоторой степени нивелировала негативное действие засоления на пигментный комплекс растений. В листьях праймированных СК растениях пшеницы содержание пигментов хотя и снизилось по сравнению с контролем, но было существенно выше, чем у растений, подвергнутых действию засоления, но без обработки семян. Было выявлено, снижение хлорофилла *a* на 24%, хлорофилла *b* на 8%, Кар на 14%, общий пул пигментов был ниже контроля на 15%. ИБУ лучше стабилизировал уровень ключевого пигмента фотосинтеза — хлорофилла *a* (снижение всего на 12%). Уровень хлорофилла *b*, Кар и общее содержание пигментов были сопоставимы с показателями при обработке СК в условиях стресса (Рис. 3).

Рисунок 3. Влияние предпосевного замачивания семян в растворах 50 мкМ СК и 100 мкМ ИБУ на содержание фотосинтетических пигментов в листьях 4-суточных растений пшеницы в оптимальных условиях и при засолении (100 мМ NaCl): хлорофилл *a* (а); хлорофилл *b* (б); каротиноиды (в); сумма пигментов (г)

Figure 3. Effect of seed pre-soaking in 50 μM CK and 100 μM IBU solutions on the content of photosynthetic pigments in the leaves of 4-day-old wheat seedlings under control conditions and salt stress (100 mM NaCl): chlorophyll *a* (a); chlorophyll *b* (б); carotenoids (в); total pigments (г)



Примечание: Разными латинскими буквами обозначены статистически значимые различия при P ⩽ 0.05

Notes: Different lowercase Latin letters indicate statistically significant differences at P ⩽ 0.05

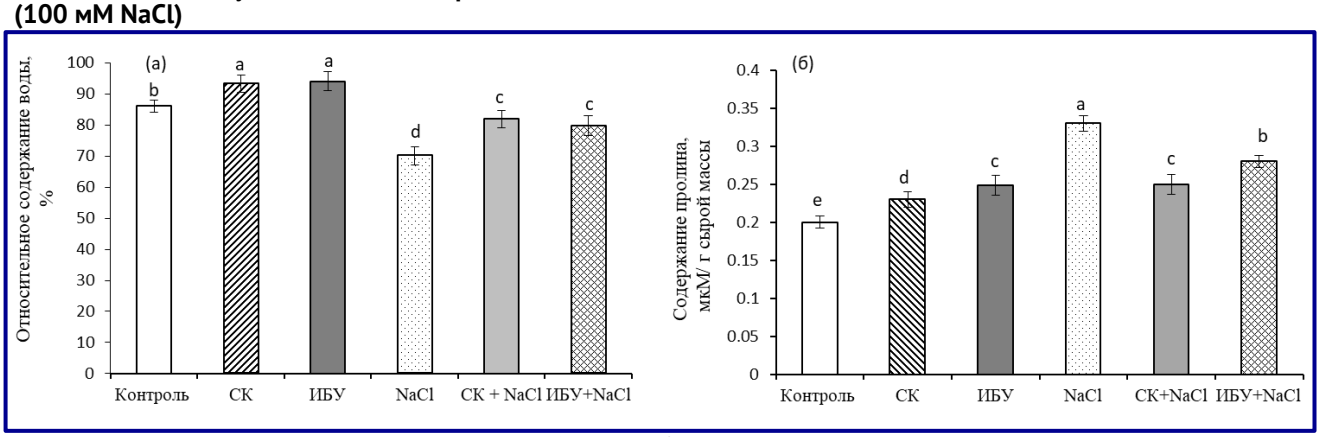
В оптимальных условиях роста, обработка СК и ИБУ вызывала повышение относительного содержания воды (ОСВ) в листьях на 8-9% (Рис. 4а). Солевой стресс (NaCl) приводил к значительному (почти на 20%) снижению данного показателя. У растений вариантов СК и ИБУ в условиях засоления снижение ОСВ было менее выраженным. В частности, величина этого показателя по сравнению с контролем уменьшилась на 7% (Рис. 4а).

Анализ осмотического статуса растений показал, что в оптимальных условиях обработка семян СК и ИБУ вызывала увеличение содержания пролина на 15% и 25% соответственно (Рис.4б). Засоление (NaCl) привело к существенному повышению содержания пролина. Так, его уровень в этих условиях был выше, чем в контроле более чем в 1,5 раза. Интересно, что предварительная обработка семян СК полностью нивелировала стресс-индуцированное накопление пролина. В то же время, предобработка семян ИБУ не предотвращала действие стресса полностью,

но способствовала стабилизации, в результате чего содержание метаболита оставалось на 40% выше контрольного уровня (Рис.4б).

Рисунок 4. Влияние предпосевного замачивания семян в растворах 50 мкМ СК и 100 мкМ ИБУ на относительное содержание воды (а) и уровень пролина (б) в 4-суточных растений пшеницы в оптимальных условиях и при засолении (100 мМ NaCl)

Figure 4. Effect of seed pre-soaking in 50 μM CK and 100 μM IBU solutions on relative water content (a) and proline level (б) in 4-day-old wheat seedlings under control conditions and salt stress (100 mM NaCl)



Примечание: Разными латинскими буквами обозначены статистически значимые различия при P ⩽ 0.05

Notes: Different lowercase Latin letters indicate statistically significant differences at P ⩽ 0.05

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Прорастание семян и развитие всходов представляют собой критическую фазу онтогенеза, определяющую их будущую устойчивость к стрессам и в целом продуктивность любой агрокультуры. Данный процесс находится под четким гормональным контролем, что делает его мишенью для регуляторных воздействий. В литературе есть сведения свидетельствующий в пользу того, что СК [Shakirova *et al.* 2003; Barbera *et al.* 2020; El-Hawary *et al.* 2023; Maslennikova *et al.* 2024a; Decsi *et al.* 2025] и ИБУ [Maslennikova 2025; Maslennikova *et al.* 2025] вызывают повышение энергии прорастания однодольных растений в оптимальных условиях. Результаты настоящего исследования согласуются с этими данными. Кроме того, надо отметить, что ИБУ оказывал сопоставимый по уровню с фитогормоном позитивный эффект на исследуемый показатель. В условиях засоления, которое приводит к задержке и снижению процента энергии прорастания семян, предобработка регуляторами роста ослабляет негативное действие стресса на этот процесс, что положительно сказывается на физиологическом состоянии растений и выражается в повышении их адаптационного потенциала.

Действие СК на злаковые культуры носит дозозависимый характер и различается от способа использования фитогормона, проявляясь как в стимуляции, так и в ингибировании физиологических процессов. Стимулирующий эффект наблюдается при использовании низких и средних концентраций: предпосевная обработка семян 0,05 мМ СК повышала урожайность и содержание незаменимых аминокислот у пшеницы [Maslennikova *et al.* 2024a], опрыскивание 0,1 мМ и 1,4 мМ СК стимулировали цветение и урожайность пальчатого проса *(Eleusine coracana)* [Appu, Muthukrishnan 2014], а также продуктивность и масличность кукурузы (*Zea mays* L.), соответственно [Khudeir, Ali 2025]. В то же время внесение в среду выращивания растений 1 мМ СК подавляла рост и синтез хлорофилла у ячменя (*Hordeum vulgare* L.) [Pancheva *et al.* 1996] и тормозила рост пшеницы [Hayat *et al.* 2005]. Таким образом, фитогормон может оказывать фитотоксический эффект, при этом обобщение современных литературных данных и результатов собственных исследований подтверждает, что СК является эффективным и перспективным стимулятором роста и антистрессовым агентом для злаковых культур [Li et al. 2022; Maslennikova et al. 2024b, a; Hayat et al. 2025].

Фармацевтическая промышленность целенаправленно создает препараты с низкой степенью биодеградации и пролонгированным периодом полувыведения, что обеспечивает длительное терапевтическое воздействие. Именно эта устойчивость становится главной проблемой после выполнения препаратом своей прямой лечебной функции. Значительная часть НПВП выводится из организма человека и животных в неизмененном виде или в форме биологически активных метаболитов. Попадая через систему канализации в сточные воды, эти соединения оказываются устойчивы к традиционным методам очистки на очистных сооружениях. В результате они

беспрепятственно проникают в природные водоемы, где, благодаря своей стабильности, включаются в пищевые цепи [Pawłowska *et al.* 2023].

Таким образом, ИБУ и его метаболиты трансформируются в опасные микрополлютанты, создавая долгосрочную и пока до конца не оцененную экологическую угрозу для биосферы. Поэтому в первых исследованиях посвященных влиянию НПВП на растения использовали высокие концентрации препаратов с целью определения порога угнетения растений, надо отметить, что таких работ, в которых рассматриваются в качестве объектов исследования высшие растения крайне мало. Так, присутствие 40 мкМ ИБУ в среде выращивания значительно тормозило рост растений арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana* L.) [Tan *et al.* 2020], полив каждые 3 дня растворами ИБУ в диапазоне концентраций от 400 мкМ до 2000 мкМ, начиная с 10 суток и до 50 суток вегетации, привел к развитию сильного окислительного стресса у коровьего гороха (*Vigna unguiculata*), что привело к значительному торможению роста растений [Wijaya *et al.* 2020], внесение ИБУ 10 мг/кг почвы в условиях горшечного эксперимента привело к торможению прорастания и роста растений ярового ячменя (*Hordeum sativum* L.) [Pawłowska *et al.* 2023]. Наряду с этим было обнаружено, что, присутствие ИБУ в дозе 1мг/мл среды выращивания семян ингибировало прорастание редиса *Raphanus sativus*, и стимулировало развитие корневой системы салата *Lactuca sativa* L. [Schmidt, Redshaw 2015]. Способность препарата стимулировать рост корней подтверждается в работе, проведенной Sharma с соавт. [2018] в которой, было обнаружено, что присутствие 10% ИБУ в среде проращивания семян пшеницы приводило к удлинению корней на 200% относительной контроля [Sharma *et al.* 2018].

Результаты данной работы, подтвердили эффективность применения предпосевного замачивания семян пшеницы в растворе 100 мкМ ИБУ с целью стимуляции роста и устойчивости растений пшеницы, засвидетельствовав еще раз позитивное влияние препарата на развитие корневой системы в норме и при засолении [Maslennikova 2025; Maslennikova *et al.* 2025]. Надо отметить, что оба препарата оказывают сходное положительное действие на развитие корневой системы и побега, как в нормальных условиях, так и в условиях стресса. Такие эффекты находят свое отражение и при анализе биомассы растений, при этом ИБУ был эффективнее в стабилизации накопления органических веществ в условиях засоления. Таким образом, полученные данные свидетельствуют о высоком ростостимулирующем и протекторном потенциале обоих соединений.

Как известно, содержание фотосинтетических пигментов является ключевым фактором, определяющим эффективность фотосинтеза и, как следствие, продуктивность растений [Yamori 2021]. Стресс засоления угнетает синтез пигментов, вызывая деградацию хлоропластов и ускоряя распад хлорофилла [Zahra *et al.* 2022; Pandit *et al.* 2024]. Фитогормон избирательно влияет на содержание хлорофилла *b* и каротиноидов, тогда как ИБУ оказывает наибольшее позитивное действие на пул хлорофилла *a*. Полученные данные свидетельствуют, что оба препарата способны инициировать структурные перестройки фотосинтетического аппарата, повышая его продуктивность и стабильность прохождения фотосинтеза.

Как показали наши данные, обработка регуляторами роста способствовала развитию более длинных и мощных корней и побегов. Этим и объясняется более высокий уровень гидратации в листьях по сравнению с контролем. При засолении водный баланс растений нарушается, что приводит к снижению показателя ОСВ. Однако обработка препаратами в равной степени нивелировала негативное воздействие стресса, поддерживая обеспеченность тканей водой. Это свидетельствует об улучшении работы устьиц и функции корней, что достигается лучшим развитием листового аппарата и корневой системы.

Пролин является мультифункциональным медиатором клетки, обладающий свойствами антиоксиданта и осмопротектанта. Эта аминокислота выполняет ключевую функцию в адаптации растений к стрессовым факторам, включая засоление [Renzetti *et al.* 2024]. Хотя оба препарата – СК и ИБУ – согласно литературным данным, индуцируют накопление этого осмолита [Shakirova *et al.* 2003; Kaya *et al.* 2023; Maslennikova 2025], в нашем эксперименте обработка ИБУ вызывала более значительное накопление пролина, чем СК. Интересно, что эта тенденция сохранялась и в условиях стресса. Это позволяет предположить, что СК эффективнее снижает осмотический стресс, вызванный засолением: она регулирует водный потенциал цитоплазмы и поддерживает систему осмопротекции на более физиологичном уровне, что снижает потребность в интенсивном синтезе пролина.

Таким образом, сравнительный анализ показал, что предпосевное замачивание семян в растворах фитогормона СК и фармацевтического препарата ИБУ оказывает на ранних этапах вегетации пшеницы сходный по силе физиологический и антистрессовый эффект. Несмотря на схожий интегральный результат — повышение общего содержания пигментов и устойчивости к стрессу можно предположить, что механизмы действия исследованных препаратов различаются, что служит основанием для дальнейшего изучения компонентов НПВП-опосредованных реакций у растений.

ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования “Агидель” и Уникальных научных установок “Кодинк” Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук.

Конфликт интересов (Conflicts of Interest)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Настоящая работа не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов исследования.

The authors declare that there is no conflict of interest. This work does not contain any studies involving humans and animals as research objects.

Авторский вклад (Author Contributions)

Масленникова Д.Р. – концепция работы, дизайн эксперимента, проведение эксперимента, анализ полученных данных, написание черновика и оригинала рукописи. Заманова Р.Ф., Давлетшина Л.С. и Газизова С.А. – постановка экспериментов, оценка ростовых параметров, содержание фотосинтетических пигментов, относительного содержания воды и пролина, обсуждение результатов.

Maslennikova D.R. – the concept of the work, the design of the experiment, the conduct of the experiment, the analysis of the data obtained, the writing of the draft and the original manuscript. Zamanova R.F., Davletshina L.S. and Gazizova S.A. – the staging of experiments, the assessment of growth parameters, the content of photosynthetic pigments, the relative content of water and proline, discussion of the results.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ГОСТ 12038-84 (**1986**) Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Издательство стандартов. Москва: 64.

Калинкина Л.Г. (**1985**) Накопление пролина в клетках морской и пресноводной хлореллы в зависимости от концентрации NaCl в среде и интенсивности роста водорослей. *Физиология растений*. **32**(1): 42–52.

Тарасов С.С., Михалёв Е.В., Речкин А.И., Крутова Е.К. (**2023**) Регуляторы роста и развития растений: классификация, природа и механизм действия. *Агрохимия*. (9): 65–80. https://doi.org/10.31857/S0002188123090120 EDN: YUDEAW

Appu M., Muthukrishnan S. (**2014**) Foliar application of salicylic acid stimulates flowering and induce defense related proteins in finger millet plants. *Universal Journal of Plant Science*. **2**(1): 14–18. https://doi.org/10.13189/ujps.2014.020102

Barbera A.C., Leonardi G., Ferrante M., Zuccarello P., Maucieri C. (**2020**) Effects of pharmaceuticals (Caffeine and Ibuprofen) and AMF inoculation on the growth and yield of *Oryza sativa* L. *Agricultural Water Management*. **232**: 106005. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106005 EDN: ZBCQFO

Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. (**1973**) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. **39**(1): 205–207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Dai H., Yuan D., Shan C. (**2023**) Jasmonic acid biosynthetic inhibitor ibuprofen inhibits the accumulation of ascorbic acid in strawberry fruit induced by lanthanum nitrate. *Plant, Soil and Environment*. **69**(3): 95–104. https://doi.org/10.17221/384/2022-PSE EDN: QBYZXJ

Decsi K., Ahmed M., Abdul-Hamid D., Tóth Z. (**2025**) The role of salicylic acid in activating plant stress responses—results of the past decade and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*. **26**(9): 4447. https://doi.org/10.3390/ijms26094447 EDN: KHAEQO

El-Hawary M.M., Hashem O.S.M., Hasanuzzaman M. (**2023**) Seed priming and foliar application with ascorbic acid and salicylic acid mitigate salt stress in wheat. *Agronomy*. **13**(2): 493. https://doi.org/10.3390/agronomy13020493 EDN: NDCJNB

Hayat S., Fariduddin Q., Ali B., Ahmad A. (**2005**) Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica*. **53**(4): 433–437. https://doi.org/10.1556/AAgr.53.2005.4.9

Hayat U., ul din K., Ahmad M., Zulfiqar U., Sajjad M., Maqsood M.F., Soufan W., Prasad P.V.V., Djalovic I. (**2025**) Salicylic acid confers cadmium tolerance in wheat by regulating photosynthesis, yield and ionic

homeostasis. *Scientific Reports*. **15**(1): 3698. https://doi.org/10.1038/s41598-025-87236-9 EDN: PEUPIL

Kaya C., Ugurlar F., Ashraf M., Ahmad P. (**2023**) Salicylic acid interacts with other plant growth regulators and signal molecules in response to stressful environments in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. **196**: 431–443. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.006 EDN: WJYKND

Khudeir M.A., Ali O.N. (**2025**) Effect of salicylic acid concentrations on the growth, yield, and quality of corn genotypes (*Zea mays L.*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. **1538**(1): 012042. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1538/1/012042 EDN: BCIJEY

Li A., Sun X., Liu L. (**2022**) Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science*. **13** https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878076 EDN: MUDVPZ

Maslennikova D., Knyazeva I., Vershinina O., Titenkov A., Lastochkina O. (**2024a**) Contribution of antioxidant system components to the long-term physiological and protective effect of salicylic acid on wheat under salinity conditions. *Plants*. **13**(11): 1569. https://doi.org/10.3390/plants13111569 EDN: PMGAQM

Maslennikova D.R. (**2025**) Ibuprofen regulates redox metabolism and nitric oxide content in early growth stages of wheat plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. **72**(3): 90. https://doi.org/10.1134/S1021443725600485 EDN: SHELFO

Maslennikova D.R., Ivanov S.P., Petrova S.F. (**2025**) The role of antioxidant system components in the effect of Ibuprofen on wheat plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. **72**(3): 64. https://doi.org/10.1134/S1021443724610437 EDN: HEYVFL

Maslennikova D.R., Ivanov S.P., Petrova S.F., Lastochkina O. V. (**2024b**) Components of the ascorbate-glutathione complex and phenylpropanoid pathway in the implementation of the protective effect of salicylic acid on wheat plants under salinity. *Russian Journal of Plant Physiology*. **71**(1): 8. https://doi.org/10.1134/S1021443723603658 EDN: EPJBDJ

Pancheva T.V., Popova L.P., Uzunova A.N. (**1996**) Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology*. **149**(1–2): 57–63. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80173-8

Pandit K., Chandni, Kaur S., Kumar M., Bhardwaj R., Kaur S. (**2024**) Chapter six - salinity stress: impact on plant growth. *In: Sharma A., Kumar M., Sharma P. (eds.) Advances in Food Security and Sustainability*. Elsevier: 145–160. https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2024.07.002

Pawłowska B., Telesiński A., Sysa M., Godela A., Ščurek R., Biczak R. (**2023**) Ibuprofen and Ketoprofen—inert drugs or potential environmental hazard? *Sustainability*. **15**(2): 1613. https://doi.org/10.3390/su15021613 EDN: PNGPAD

Renzetti M., Funck D., Trovato M. (**2024**) Proline and ROS: a unified mechanism in plant development and stress response? *Plants*. **14**(1): 2. https://doi.org/10.3390/plants14010002 EDN: AVLMLY

Sairam R.K., Rao K.V., Srivastava G.C. (**2002**) Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*. **163**(5): 1037–1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9 EDN: BBPNAT

Schmidt W., Redshaw C.H. (**2015**) Evaluation of biological endpoints in crop plants after exposure to non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs): Implications for phytotoxicological assessment of novel contaminants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. **112**: 212–222. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.008 EDN: URVFBP

Shakirova F.M., Sakhabutdinova A.R., Bezrukova M. V, Fatkhutdinova R.A., Fatkhutdinova D.R. (**2003**) Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*. **164**(3): 317–322. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6 EDN: LICRWT

Sharma H.R., Garg S., Malan A. (**2018**) Paracetamol and Ibuprofen effect on seed quality attributes of *Triticum aestivum* (wheat). *International Research Journal of Environmental Sciences*. **7**(7): 44–48.

Tan S., Di Donato M., Glanc M. *et al.* (**2020**) Non-steroidal anti-inflammatory drugs target TWISTED DWARF1-regulated actin dynamics and auxin transport-mediated plant development. *Cell Reports*. **33**(9): 108463. https://doi.org/10.1016/j.celrep.2020.108463 EDN: VQFWBW

Wellburn A.R. (**1994**) The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. **144**(3): 307–313. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2

Wijaya L., Alyemeni M., Ahmad P., Alfarhan A., Barcelo D., El-Sheikh M.A., Pico Y. (**2020**) Ecotoxicological effects of ibuprofen on plant growth of *Vigna unguiculata* L. *Plants*. **9**(11): 1473. https://doi.org/10.3390/plants9111473 EDN: VQUYUM

Wu B., Zeng Z., Wu X., Li Y., Wang F., Yang J., Li X. (**2022**) Jasmonic acid negatively regulation of root growth in Japonica rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium treatment. *Plant Growth Regulation*. **98**(3): 651–667. https://doi.org/10.1007/s10725-022-00897-8 EDN: NDVEIV

Yamori W. (**2021**) Strategies for engineering photosynthesis for enhanced plant biomass production. *In: Ali J., Wani S.H. (eds.) Rice Improvement: Physiological, Molecular Breeding and Genetic Perspectives*. Springer International Publishing. Cham: 31–58. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66530-2_2

Zahra N., Al Hinai M.S., Hafeez M.B., Rehman A., Wahid A., Siddique K.H.M., Farooq M. (**2022**) Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. *Plant Physiology and Biochemistry*. **178**: 55–69. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.003 EDN: LYQQWR

REFERENCES

GOST 12038-84 (**1986**) Agricultural seeds. Methods for determination of germination. "Standard Publ". Moscow: 64. (In Rus.)

Kalinkina L.G. (**1985**) Proline accumulation in marine and freshwater Chlorella in relation to NaCl concentration in the medium and to alga growth rates. *Plant Physiology [Fiziologiya rastenii]*. **32**(1): 42–52. (In Rus.)

Tarasov S.S., Mikhalev E.V., Rechkin A.I., Krutova E.K. (**2023**) Plant growth and development regulators: classification, nature and mechanism of action. *Agricultural Chemistry*. (9): 65–80. https://doi.org/10.31857/S0002188123090120 EDN: YUDEAW (In Rus.)

Appu M., Muthukrishnan S. (**2014**) Foliar application of salicylic acid stimulates flowering and induce defense related proteins in finger millet plants. *Universal Journal of Plant Science*. **2**(1): 14–18. https://doi.org/10.13189/ujps.2014.020102

Barbera A.C., Leonardi G., Ferrante M., Zuccarello P., Maucieri C. (**2020**) Effects of pharmaceuticals (Caffeine and Ibuprofen) and AMF inoculation on the growth and yield of *Oryza sativa* L. *Agricultural Water Management*. **232**: 106005. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106005 EDN: ZBCQFO

Bates L.S., Waldren R.P., Teare I.D. (**1973**) Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*. **39**(1): 205–207. https://doi.org/10.1007/BF00018060

Dai H., Yuan D., Shan C. (**2023**) Jasmonic acid biosynthetic inhibitor ibuprofen inhibits the accumulation of ascorbic acid in strawberry fruit induced by lanthanum nitrate. *Plant, Soil and Environment*. **69**(3): 95–104. https://doi.org/10.17221/384/2022-PSE EDN: QBYZXJ

Decsi K., Ahmed M., Abdul-Hamid D., Tóth Z. (**2025**) The role of salicylic acid in activating plant stress responses—results of the past decade and future perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*. **26**(9): 4447. https://doi.org/10.3390/ijms26094447 EDN: KHAEQQ

El-Hawary M.M., Hashem O.S.M., Hasanuzzaman M. (**2023**) Seed priming and foliar application with ascorbic acid and salicylic acid mitigate salt stress in wheat. *Agronomy*. **13**(2): 493. https://doi.org/10.3390/agronomy13020493 EDN: NDCJNB

Hayat S., Fariduddin Q., Ali B., Ahmad A. (**2005**) Effect of salicylic acid on growth and enzyme activities of wheat seedlings. *Acta Agronomica Hungarica*. **53**(4): 433–437. https://doi.org/10.1556/AAgr.53.2005.4.9

Hayat U., ul din K., Ahmad M., Zulfiqar U., Sajjad M., Maqsood M.F., Soufan W., Prasad P.V.V., Djalovic I. (**2025**) Salicylic acid confers cadmium tolerance in wheat by regulating photosynthesis, yield and ionic homeostasis. *Scientific Reports*. **15**(1): 3698. https://doi.org/10.1038/s41598-025-87236-9 EDN: PEUPIL

Kaya C., Ugurlar F., Ashraf M., Ahmad P. (**2023**) Salicylic acid interacts with other plant growth regulators and signal molecules in response to stressful environments in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. **196**: 431–443. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.02.006 EDN: WJYKND

Khudeir M.A., Ali O.N. (**2025**) Effect of salicylic acid concentrations on the growth, yield, and quality of corn genotypes (*Zea mays L.*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. **1538**(1): 012042. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1538/1/012042 EDN: BCIJEY

Li A., Sun X., Liu L. (**2022**) Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science*. **13** https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878076 EDN: MUDVPZ

Maslennikova D., Knyazeva I., Vershinina O., Titenkov A., Lastochkina O. (**2024a**) Contribution of antioxidant system components to the long-term physiological and protective effect of salicylic acid on wheat under salinity conditions. *Plants*. **13**(11): 1569. https://doi.org/10.3390/plants13111569 EDN: PMGAQM

Maslennikova D.R. (**2025**) Ibuprofen regulates redox metabolism and nitric oxide content in early growth stages of wheat plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. **72**(3): 90. https://doi.org/10.1134/S1021443725600485 EDN: SHELFO

Maslennikova D.R., Ivanov S.P., Petrova S.F. (**2025**) The role of antioxidant system components in the effect of Ibuprofen on wheat plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. **72**(3): 64. https://doi.org/10.1134/S1021443724610437 EDN: HEYVFL

Maslennikova D.R., Ivanov S.P., Petrova S.F., Lastochkina O. V. (**2024b**) Components of the ascorbate-glutathione complex and phenylpropanoid pathway in the implementation of the protective effect of salicylic acid on wheat plants under salinity. *Russian Journal of Plant Physiology*. **71**(1): 8. https://doi.org/10.1134/S1021443723603658 EDN: EPJBDJ

Pancheva T.V., Popova L.P., Uzunova A.N. (**1996**) Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *Journal of Plant Physiology*. **149**(1–2): 57–63. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(96)80173-8

Pandit K., Chandni, Kaur S., Kumar M., Bhardwaj R., Kaur S. (**2024**) Chapter six - salinity stress: impact on plant growth. *In: Sharma A., Kumar M., Sharma P. (eds.) Advances in Food Security and Sustainability*. Elsevier: 145–160. https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2024.07.002

Pawłowska B., Telesiński A., Sysa M., Godela A., Ščurek R., Biczak R. (**2023**) Ibuprofen and Ketoprofen—inert drugs or potential environmental hazard? *Sustainability*. **15**(2): 1613. https://doi.org/10.3390/su15021613 EDN: PNGPAD

Renzetti M., Funck D., Trovato M. (**2024**) Proline and ROS: a unified mechanism in plant development and stress response? *Plants*. **14**(1): 2. https://doi.org/10.3390/plants14010002 EDN: AVLMLY

Sairam R.K., Rao K.V., Srivastava G.C. (**2002**) Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Science*. **163**(5): 1037–1046. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00278-9 EDN: BBPNAT

Schmidt W., Redshaw C.H. (**2015**) Evaluation of biological endpoints in crop plants after exposure to non-steroidal anti-inflammatory drugs (NSAIDs): Implications for phytotoxicological assessment of novel contaminants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. **112**: 212–222. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.11.008 EDN: URVFBP

Shakirova F.M., Sakhabutdinova A.R., Bezrukova M. V, Fatkhutdinova R.A., Fatkhutdinova D.R. (**2003**) Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*. **164**(3): 317–322. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6 EDN: LICRWT

Sharma H.R., Garg S., Malan A. (**2018**) Paracetamol and Ibuprofen effect on seed quality attributes of *Triticum aestivum* (wheat). *International Research Journal of Environmental Sciences*. **7**(7): 44–48.

Tan S., Di Donato M., Glanc M. *et al.* (**2020**) Non-steroidal anti-inflammatory drugs target TWISTED DWARF1-regulated actin dynamics and auxin transport-mediated plant development. *Cell Reports*. **33**(9): 108463. https://doi.org/10.1016/j.celrep.2020.108463 EDN: VQFWBW

Wellburn A.R. (**1994**) The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Journal of Plant Physiology*. **144**(3): 307–313. https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)81192-2

Wijaya L., Alyemeni M., Ahmad P., Alfarhan A., Barcelo D., El-Sheikh M.A., Pico Y. (**2020**) Ecotoxicological effects of ibuprofen on plant growth of *Vigna unguiculata* L. *Plants*. **9**(11): 1473. https://doi.org/10.3390/plants9111473 EDN: VQUYUM

Wu B., Zeng Z., Wu X., Li Y., Wang F., Yang J., Li X. (**2022**) Jasmonic acid negatively regulation of root growth in Japonica rice (*Oryza sativa* L.) under cadmium treatment. *Plant Growth Regulation*. **98**(3): 651–667. https://doi.org/10.1007/s10725-022-00897-8 EDN: NDVEIV

Yamori W. (**2021**) Strategies for engineering photosynthesis for enhanced plant biomass production. *In: Ali J., Wani S.H. (eds.) Rice Improvement: Physiological, Molecular Breeding and Genetic Perspectives.* Springer International Publishing. Cham: 31–58. https://doi.org/10.1007/978-3-030-66530-2_2

Zahra N., Al Hinai M.S., Hafeez M.B., Rehman A., Wahid A., Siddique K.H.M., Farooq M. (**2022**) Regulation of photosynthesis under salt stress and associated tolerance mechanisms. *Plant Physiology and Biochemistry*. **178**: 55–69. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2022.03.003 EDN: LYQQWR

Цитировать как

Масленникова Д.Р., Газизова С.А., Заманова Р.Ф., Давлетшина Л.С. (**2026**) Сравнительный анализ эффективности применения салициловой кислоты и ибупрофена на растения пшеницы на ранних этапах онтогенеза. *Экобиотех*. **9**(1): 46-57.
DOI: http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-4
EDN: https://www.elibrary.ru/mqdtgf

Cited as

Maslennikova D.R., Gazizova S.A., Zamanova R.F., Davletshina L.S. (**2026**) Comparative analysis of the efficiency of salicylic acid and ibuprofen on wheat plants at the early stages of ontogenesis. *Ecobiotech*. **9**(1): 46-57.
DOI: http://doi.org/10.31163/2618-964X/2026-4
EDN: https://www.elibrary.ru/mqdtgf

Сведения об авторах

Дилара Ринатовна Масленникова, к.б.н., Институт биохимии и генетики Уфимского федерального исследовательского центра РАН; Уфимский государственный нефтяной технический университет; Уфа, Россия. E-mail: dishaoil@mail.ru, SPIN: 9066-1323, ResearcherID: C-6148-2017, ORCID: 0000-0002-6360-0965, ScopusID: 55746346500

Сабина Айдаровна Газизова, магистрант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия. E-mail: gazizova.sabinka@yandex.ru

Рузанна Фаритовна Заманова, магистрант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия. E-mail: ruzanna.zam@yandex.ru

Лейсан Салаватовна Давлетшина, магистрант, Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия. E-mail: xiro29@mail.ru

Information About the Authors

Dilara R. Maslennikova, PhD in Biological Sciences, Institute of Biochemistry and Genetics; Ufa Federal Research Center, Russian Academy of Sciences; Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia. E-mail: dishaoil@mail.ru, SPIN-code: 9066-1323, ResearcherID: C-6148-2017, ORCID: 0000-0002-6360-0965, ScopusID: 55746346500

Sabina A. Gazizova, Master's student, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia. E-mail: gazizova.sabinka@yandex.ru

Ruzanna F. Zamanova, Master's student, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia. E-mail: ruzanna.zam@yandex.ru

Leisan S. Davletshina, Master's student, Ufa State Petroleum Technical University, Ufa, Russia. E-mail: xiro29@mail.ru