

EDN: NVSQPN

УДК 581.1:633.11/.13

The Effects of Different Concentrations of Salicylic and Succinic Acids on the Germination and Morphometric Parameters of Oat *Avena sativa* L. and Wheat *Triticum durum* L.

Anastasia V. Yakunina* and **Yulia V. Sinitsina**
*National Research Lobachevsky State University
of Nizhny Novgorod
Nizhny Novgorod, Russian Federation*

Received 14.12.2021, received in revised form 16.07.2022, accepted 15.10.2022

Abstract. The use of growth regulators is an encouraging trend in plant physiology. The most promising approach in agriculture is the application of artificial analogs of plant growth regulators, which are used in small amounts and are harmless to humans and the environment. These compounds include substances based on plant hormones and their mimetics. The purpose of the current research was to study the effect of pre-sowing treatment of oat and wheat seeds with solutions of salicylic and succinic acids at concentrations of 0.5 mM, 0.05 mM, and 0.005 mM on germination and morphometric parameters of plants. The germination energy was determined on Day 4, the germination capacity on Day 7, and the lengths of the roots and shoots, the area of the second leaf, and the wet and dry weights of shoots and roots on Day 14 of the growing period. The study showed that the pre-sowing treatment of oat plants with salicylic acid at a concentration of 0.005 mM increased germination by 75 %. At a higher concentration, 0.05 mM, salicylic acid increased the oat root length by 36 % and the shoot wet and dry weights by 45 % and 56 %, respectively. Succinic acid at a concentration of 0.5 mM reduced the germination energy of oat seeds by 40 %, but at a lower concentration, 0.005 mM, increased germination energy by 56 % and germination capacity by 53 %. The pre-sowing treatment of wheat seeds showed that salicylic acid at a concentration of 0.5 mM reduced the root wet weight by 59 %. Succinic acid at the same concentration led to an increase in wet and dry weights of wheat shoots by 30 % and 48 %, respectively. Lower concentrations of salicylic and succinic acids should be used to increase germination. However, to increase the size or mass of plant seedlings, these compounds should be used at higher concentrations (0.05–0.5 mM). Salicylic acid was generally more beneficial for oat plants, while succinic acid produced more favorable effects on wheat plants.

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: yakunina.anastasia@gmail.com

ORCID: 0000-0003-0462-3793 (Yakunina A.); 0000-0003-1127-363X (Sinitsina Yu.)

Thus, pre-sowing treatment of seeds with salicylic and succinic acids can be considered as a method for improving plant growth.

Keywords: salicylic acid, succinic acid, oat, wheat, morphometry.

Citation: Yakunina A. V., Sinitsina Yu. V. The effects of different concentrations of salicylic and succinic acids on the germination and morphometric parameters of oat *Avena sativa* L. and wheat *Triticum durum* L. J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2023, 16(1), 54–63. EDN: NVSQPN.



Влияние салициловой и янтарной кислот разных концентраций на всхожесть и морфометрические показатели растений овса посевного *Avena sativa* L. и пшеницы твёрдой *Triticum durum* L.

А. В. Якунина, Ю. В. Синицына

*Национальный исследовательский Нижегородский
государственный университет имени Н. И. Лобачевского
Российская Федерация, Нижний Новгород*

Аннотация. Использование регуляторов роста – перспективное направление в физиологии растений. Наиболее перспективен поиск нового поколения химических регуляторов роста – аналогов природных соединений, применяемых в микродозах, безвредных для человека и окружающей среды. К таким соединениям можно отнести вещества на основе фитогормонов и их миметиков. Целью работы было изучить влияние предпосевной обработки семян овса и пшеницы растворами салициловой и янтарной кислот концентраций 0,5 мМ, 0,05 мМ и 0,005 мМ на всхожесть и морфометрические показатели растений. Определяли энергию прорастания на 4 сутки, всхожесть на 7 сутки, длину корня и побега, площадь второго листа, сырой и сухой вес на 14 день вегетации. Установлено, что предпосевная обработка растений овса салициловой кислотой в концентрации 0,005 мМ повышала всхожесть на 75 %. В более высокой концентрации 0,05 мМ салициловая кислота увеличивала длину корня овса на 36 % и повышала сырой и сухой вес побега на 45 % и 56 % соответственно. Янтарная кислота в концентрации 0,5 мМ снижала энергию прорастания семян овса на 40 %, а в более низкой концентрации 0,005 мМ – увеличивала этот показатель на 56 % и повышала всхожесть на 53 %. Предпосевная обработка семян пшеницы показала, что салициловая кислота в концентрации 0,5 мМ снижала сырой вес корня на 59 %. Янтарная кислота в той же концентрации приводила к увеличению сырого и сухого веса побега пшеницы на 30 % и 48 % соответственно. Чтобы повысить всхожесть предпочтительнее использовать низкие концентрации салициловой и янтарной кислот, однако для увеличения размеров или массы проростков растений рекомендуется использовать более высокие концентрации 0,05–0,5 мМ. На растения овса положительное действие чаще оказывала

салициловая кислота, на растения пшеницы – янтарная. Таким образом, предпосевная обработка семян растворами салициловой и янтарной кислот может рассматриваться в качестве метода улучшения роста растений.

Ключевые слова: салициловая кислота, янтарная кислота, овёс посевной, пшеница твёрдая, морфометрия.

Цитирование: Якунина, А. В. Влияние салициловой и янтарной кислот разных концентраций на всхожесть и морфометрические показатели растений овса посевного *Avena sativa* L. и пшеницы твёрдой *Triticum durum* L. / А. В. Якунина, Ю. В. Синицына // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2023. 16(1). С. 54–63. EDN: NVSQPN.

Введение

В настоящее время ведётся активный поиск препаратов, стимулирующих рост и развитие растений и в то же время являющихся безопасными для здоровья человека и окружающей среды. К таким препаратам можно отнести регуляторы роста на основе природных соединений и фитогормонов. Салициловая кислота (СК) относится к фитогормонам, которые обеспечивают растению устойчивость к повреждению различными патогенами. Салициловая кислота в микромолярных концентрациях обнаружена в листьях, корнях, цветках и плодах многих растений (Raskin, 1992). При участии салициловой кислоты происходит доставка новообразованных белков в ядро, хлоропласты, митохондрии и вакуоли (Тарчевский, 2002). Синтез салициловой кислоты играет ключевую роль в реакции сверхчувствительности, а также в пролонгированной системной устойчивости растений к широкому кругу инфекций (Vasyukova, Ozeretskoyanskaya, 2007). Специфической особенностью этого фитогормона является его способность активировать цианид-устойчивое дыхание растений, приводящее к выделению тепла (Vlot et al., 2009). Салициловая кислота вызывает закрытие устьиц наряду с абсцизовой кислотой, участвует в сигнальной регуляции генной экспрессии в ходе старения листьев арабидопсиса (Prodhan et

al., 2018). Салициловая кислота может снижать степень повреждающего действия ионов тяжелых металлов на растения риса (Байбурина, Фазлутдинова, 2015).

Органические кислоты как продукты метаболизма растений могут выступать в качестве регуляторов роста растений, поэтому представляет интерес изучение их рострегулирующего действия. Янтарная кислота (ЯК) является природным миметиком салициловой кислоты (Тарчевский и др., 1999). Существенное преимущество применения янтарной кислоты в растениеводстве перед другими биостимуляторами состоит в том, что при весьма незначительных применяющихся для обработки дозах экзогенной янтарной кислоты ее можно получать в больших количествах недорогим способом. Янтарная кислота, являясь природным соединением, может быстро метаболизироваться растением или разрушаться микрофлорой, что обуславливает отсутствие её остаточных количеств в продуктах и средах. Поэтому дальнейшее изучение применения янтарной кислоты в качестве биостимулятора и адаптогена растений является весьма перспективным направлением, как с экологической, так и с экономической точки зрения (Грабовская и др., 2020).

Целью работы было изучение влияния предпосевной обработки семян овса и пше-

ницы растворами салициловой и янтарной кислот концентраций 0,5 мМ, 0,05 мМ и 0,005 мМ на энергию прорастания, всхожесть семян, длину побега и корня, площадь второго листа, сырой и сухой вес побегов и корней.

Материалы и методы

Растения овса посевного (*Avena sativa* L.) сорта Кречет и растения пшеницы твёрдой (*Triticum durum* L.) сорта Харьковская 46 выращивали в лабораторных условиях. Семена предварительно промывали водой с мылом и обрабатывали 3 % раствором перекиси водорода. Семена растений были разделены на следующие экспериментальные группы: первую группу семян замачивали в дистиллированной воде (контроль); вторую – в растворе 0,5 мМ салициловой кислоты; третью – в растворе 0,05 мМ салициловой кислоты; четвёртую – в растворе 0,005 мМ салициловой кислоты. Пятую, шестую и седьмую группы замачивали в растворах янтарной кислоты 0,5 мМ, 0,05 мМ и 0,005 мМ концентраций соответственно. Время замачивания семян составляло 16 часов. После замачивания семена промывали дистиллированной водой и переносили в чашки Петри для определения энергии прорастания и всхожести.

Определение лабораторной всхожести семян и энергии прорастания проводили согласно ГОСТу 12038–84. Для этого отбирали из фракции семян четыре пробы по 100 семян в каждой. Семена проращивали в чашках Петри в темноте при температуре 22–24 °С, в качестве подстилки применяли фильтровальную бумагу. Бумагу увлажняли до полной влагоёмкости (опускали в воду, затем давали стечь избытку воды). За прорастанием семян наблюдали ежедневно в течение 7 суток. Количество семян, проросших на 4 сутки, определяли как энергию прорастания, количество проростков на 7 сутки – как всхожесть. Выход

и энергию прорастания семян вычисляли как среднее арифметическое результатов анализа четырех проб и выражали в процентах (Беляев, 2000).

После появления первых корешков на 4 сутки проросшие семена переносили в вегетационный сосуд на 200 мл, на один сосуд сажали 5 семян овса или пшеницы. Вегетационные сосуды предварительно заполняли грунтом, имеющим в своём составе смесь торфов различной степени разложения, комплексное минеральное удобрение, песок речной термически обработанный, муку известняковую (доломитовую). Массовая доля питательных веществ грунта для азота (N) – 250 мг/л; фосфора (P₂O₅) – 275 мг/л; калия (K₂O) – 275 мг/л. рН солевой вытяжки – 8,25. Растения овса и пшеницы выращивали при естественном освещении и температуре 24–26 °С. Полив осуществляли каждый день. Через две недели определяли морфометрические параметры: длину корня, длину побега, площадь второго листа. Также регистрировали сырой и сухой вес побегов и корней. Рассчитывали среднее значение, ошибку среднего. Статистическую значимость различий определяли по коэффициенту Стьюдента. Минимальное количество измерений каждого показателя для каждой группы – 5 (Гланц, 1998).

Результаты и обсуждение

Определение лабораторной всхожести – один из важнейших видов оценки посевных качеств семян, так как при плохой всхожести получают изреженные посевы, что снижает урожай. Выраженность эффекта от обработки семян растений овса зависела от вида использованного регулятора роста (табл. 1). Салициловая кислота в целом не влияла на энергию прорастания, но в самой низкой концентрации (0,005 мМ) увеличила всхожесть на 75 %. В отличие от салициловой кислоты янтарная

Таблица 1. Влияние салициловой (СК) и янтарной (ЯК) кислот на энергию прорастания и всхожесть растений овса

Table 1. The effects of salicylic (СК) and succinic (ЯК) acids on the germination energy and germination rate of oat plants

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	11,5 ± 1,8	17,0 ± 2,1
Обработка СК 0,5 мМ	14,8 ± 1,8	20,8 ± 1,7
Обработка СК 0,05 мМ	15,3 ± 1,7	23,5 ± 3,5
Обработка СК 0,005 мМ	16,8 ± 1,7	29,8 ± 4,5*
Обработка ЯК 0,5 мМ	7,0 ± 0,7*	11,3 ± 1,4
Обработка ЯК 0,05 мМ	14,3 ± 3,2	20,8 ± 4,6
Обработка ЯК 0,005 мМ	18,0 ± 1,5*	26,0 ± 3,2*

*- различия с контролем статистически значимы, $p < 0,05$

кислота имела более выраженный эффект на энергию прорастания: в низкой концентрации (0,005 мМ) увеличивала этот показатель на 56 %, а в высокой – 0,5 мМ наоборот снижала его на 40 %. Также янтарная кислота в концентрации 0,005 мМ повышала всхожесть овса на 53 %.

На энергию прорастания и всхожесть семян пшеницы обработка салициловой и янтарной кислотами не повлияла, только янтарная кислота в концентрации 0,5 мМ незначительно снижала энергию прорастания семян на 3 % (табл. 2). Пшеница изначально

имела высокую степень всхожести (96 %), поэтому обработка исследуемыми органическими кислотами не улучшила данный показатель, однако и не снизила его. В отличие от пшеницы, овёс прорастал медленно, поэтому на 4 и 7 сутки регистрации получены довольно низкие показатели энергии прорастания и всхожести. Вероятно, именно медленно прорастающие культуры наиболее чувствительны к применению регуляторов роста, но эффект зависит от концентрации.

Результаты проведённого эксперимента сопоставимы с данными других исследова-

Таблица 2. Влияние салициловой и янтарной кислот на энергию прорастания и всхожесть растений пшеницы

Table 2. The effects of salicylic and succinic acids on the germination energy and germination rate of wheat plants

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль	94,8 ± 0,9	96,0 ± 1,4
Обработка СК 0,5 мМ	91,5 ± 1,9	94,0 ± 2,0
Обработка СК 0,05 мМ	92,3 ± 3,3	95,3 ± 0,6
Обработка СК 0,005 мМ	91,0 ± 1,7	94,0 ± 2,0
Обработка ЯК 0,5 мМ	91,5 ± 0,9*	93,5 ± 0,3
Обработка ЯК 0,05 мМ	91,8 ± 2,6	95,8 ± 1,1
Обработка ЯК 0,005 мМ	91,5 ± 1,7	95,8 ± 1,3

*- различия с контролем статистически значимы, $p < 0,05$

телей, а именно с более частым проявлением активирующего рост эффекта при применении салициловой и янтарной кислот низких концентраций и ингибировании при высоких концентрациях. Так, в исследовании Movaghatian, Khorsandi (2013) предпосевная обработка семян пшеницы 0,00001 мМ и 0,001 мМ салициловой кислотой увеличивала всхожесть по сравнению с контролем, а в концентрации 1 мМ – снижала: самый высокий показатель всхожести (97,2 %) наблюдался при концентрации салициловой кислоты 0,00001 мМ, а самый низкий (78,3 %) – при концентрации 1 мМ (Movaghatian, Khorsandi, 2013). Исследование Dolatabadian et al. (2009) показало, что предварительное замачивание семян пшеницы в растворе салициловой кислоты 0,5 мМ, в отличие от наших результатов, повышало всхожесть семян, но увеличение концентрации до 1 мМ снижало данный показатель (Dolatabadian et al., 2009).

Определение морфометрических показателей используют у молодых проростков для прогноза возможной скорости роста и продуктивности растений. Этот метод является неdestructивным, отличается своей оперативностью, низкой трудоемкостью и простотой,

поэтому часто используется для характеристики проростков растений. Среди морфометрических показателей длину и ширину листьев и других органов можно легко и непосредственно измерить с помощью простейших приборов, они не требуют последующих громоздких вычислений (Полонский, Полякова, 2014). Салициловая и янтарная кислоты не изменили такие показатели, как длина побега и площадь второго листа. Можно отметить, что в наших экспериментах у 2-недельных проростков предпосевная обработка овса салициловой кислотой в концентрации 0,05 мМ приводила к увеличению длины корня на 36 % (табл. 3).

Обработка растений пшеницы растворами салициловой и янтарной кислот также не приводила к существенным изменениям длины побега и корня и площади второго листа (табл. 4).

В отличие от наших результатов, в литературе представлены данные о выраженном активирующем или ингибирующем влиянии салициловой и янтарной кислот на морфометрические показатели. Так, в исследовании Рахманкуловой и др. (2006) предпосевная обработка семян пшеницы салициловой кислотой в концентрации 0,05 мМ приводила

Таблица 3. Влияние салициловой и янтарной кислот на длину побега и корня и площадь второго листа растений овса

Table 3. The effects of salicylic and succinic acids on the length of the shoot and root and the area of the second leaf of oat plants

Вариант опыта	Длина побега, см	Длина корня, см	Площадь второго листа, см ²
Контроль	30,0 ± 1,9	10,7 ± 0,8	5,7 ± 0,6
Обработка СК 0,5 мМ	31,8 ± 1,6	11,6 ± 0,9	6,5 ± 0,7
Обработка СК 0,05 мМ	33,1 ± 1,5	14,6 ± 1,0*	6,8 ± 0,6
Обработка СК 0,005 мМ	34,2 ± 0,9	10,0 ± 0,9	6,7 ± 0,4
Обработка ЯК 0,5 мМ	31,6 ± 1,6	13,0 ± 1,3	7,4 ± 0,7
Обработка ЯК 0,05 мМ	32,9 ± 1,0	12,2 ± 1,3	6,7 ± 0,4
Обработка ЯК 0,005 мМ	31,6 ± 1,1	10,9 ± 1,2	7,0 ± 0,5

*- различия с контролем статистически значимы, $p < 0,05$

Таблица 4. Влияние салициловой и янтарной кислот на длину побега и корня и площадь второго листа растений пшеницы

Table 4. The effects of salicylic and succinic acids on the length of the shoot and root and the area of the second leaf of wheat plants

Вариант опыта	Длина побега, см	Длина корня, см	Площадь второго листа, см ²
Контроль	31,7 ± 0,8	10,8 ± 0,5	6,1 ± 0,4
Обработка СК 0,5 мМ	29,6 ± 1,2	9,6 ± 0,3	5,3 ± 0,2
Обработка СК 0,05 мМ	30,1 ± 0,7	10,4 ± 0,4	5,6 ± 0,3
Обработка СК 0,005 мМ	30,3 ± 0,8	10,8 ± 0,5	6,3 ± 0,2
Обработка ЯК 0,5 мМ	32,4 ± 1,5	9,9 ± 0,5	5,9 ± 0,5
Обработка ЯК 0,05 мМ	30,3 ± 1,4	10,2 ± 0,4	5,6 ± 0,3
Обработка ЯК 0,005 мМ	29,5 ± 1,0	10,6 ± 0,4	5,2 ± 0,3

к увеличению длины надземной и подземной частей растений. Салициловая кислота в концентрациях 0,5 мМ и 1 мМ увеличивала длину проростков и корней пшеницы (Dolatabadian et al., 2009). Обработка семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой в концентрации 1 мМ увеличивала площадь листовой поверхности пшеницы на 17–20 % по сравнению с вариантом без обработки (Цыганова и др., 2019).

В то же время мы обнаружили стимулирующее действие салициловой и янтарной кислот не на длину, а на сырой и сухой вес побегов овса и пшеницы. Обработка семян овса салициловой кислотой в концентрации

0,05 мМ повышала сырой и сухой вес побега на 45 % и 56 % соответственно (табл. 5). А обработка семян пшеницы янтарной кислотой в концентрации 0,5 мМ приводила к увеличению сырого и сухого веса побега на 30 % и 48 % соответственно (табл. 6).

Для растений пшеницы, обработанных салициловой кислотой в концентрации 0,5 мМ, показано снижение сырого веса корня на 59 % (табл. 6).

Относительное содержание воды в побегах и корнях обоих видов растений почти не отличалось от контрольных групп – изменения этого показателя не превышали 4 %.

Таблица 5. Влияние салициловой и янтарной кислот на сырой и сухой вес побега и корня растений овса

Table 5. The effects of salicylic and succinic acids on the wet and dry weights of the shoot and the root of oat plants

Вариант опыта	Сырой вес побега, г	Сухой вес побега, г	Сырой вес корня, г	Сухой вес корня, г
Контроль	0,338 ± 0,047	0,025 ± 0,004	0,061 ± 0,023	0,004 ± 0,003
Обработка СК 0,5 мМ	0,249 ± 0,045	0,019 ± 0,004	0,036 ± 0,013	0,002 ± 0,001
Обработка СК 0,05 мМ	0,490 ± 0,022*	0,039 ± 0,002*	0,072 ± 0,015	0,004 ± 0,001
Обработка СК 0,005 мМ	0,312 ± 0,029	0,024 ± 0,003	0,031 ± 0,001	0,002 ± 0,001
Обработка ЯК 0,5 мМ	0,307 ± 0,070	0,026 ± 0,006	0,041 ± 0,002	0,002 ± 0,001
Обработка ЯК 0,05 мМ	0,360 ± 0,053	0,031 ± 0,005	0,073 ± 0,020	0,004 ± 0,001
Обработка ЯК 0,005 мМ	0,394 ± 0,063	0,033 ± 0,005	0,067 ± 0,011	0,003 ± 0,001

*- различия с контролем статистически значимы, $p < 0,05$

Таблица 6. Влияние салициловой и янтарной кислот на сырой и сухой вес побега и корня растений пшеницы

Table 6. The effects of salicylic and succinic acids on the wet and dry weights of the shoot and the root of wheat plants

Вариант опыта	Сырой вес побега, г	Сухой вес побега, г	Сырой вес корня, г	Сухой вес корня, г
Контроль	0,250 ± 0,019	0,025 ± 0,002	0,101 ± 0,015	0,005 ± 0,001
Обработка СК 0,5 мМ	0,247 ± 0,025	0,023 ± 0,003	0,041 ± 0,009*	0,003 ± 0,001
Обработка СК 0,05 мМ	0,285 ± 0,024	0,028 ± 0,002	0,092 ± 0,009	0,005 ± 0,001
Обработка СК 0,005 мМ	0,280 ± 0,005	0,029 ± 0,001	0,069 ± 0,011	0,006 ± 0,001
Обработка ЯК 0,5 мМ	0,325 ± 0,019*	0,037 ± 0,002*	0,079 ± 0,005	0,005 ± 0,001
Обработка ЯК 0,05 мМ	0,267 ± 0,048	0,029 ± 0,005	0,078 ± 0,009	0,005 ± 0,001
Обработка ЯК 0,005 мМ	0,255 ± 0,027	0,028 ± 0,002	0,081 ± 0,014	0,007 ± 0,001

*- различия с контролем статистически значимы, $p < 0,05$

Можно предположить, что в условиях нашего эксперимента при нормальном водоснабжении салициловая и янтарная кислоты изменяли в первую очередь скорость накопления сухого вещества в проростках пшеницы и овса, не влияя на их водный обмен.

В литературе часто можно встретить сообщения о похожем эффекте увеличения сырой и сухой массы надземных частей при использовании близких к нашим концентраций салициловой и янтарной кислот. Так, обработка семян пшеницы 0,5 мМ и 1 мМ салициловой кислотой увеличивала сухой вес проростков (Dolatabadian et al., 2009). Обработка семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой в концентрации 1 мМ увеличивала массу сухого вещества на 33 % в сравнении с вариантом без предпосевной обработки (Цыганова и др., 2019). В работе Nayat et al. (2005) показано, что предварительное замачивание семян пшеницы в растворе салициловой кислоты концентрации 0,01 мМ приводило к увеличению числа листьев, увеличению сырой и сухой массы, однако предварительное замачивание в более высокой концентрации 1 мМ салициловой кислоты снижало все вышеперечисленные параметры.

Предпосевная обработка семян пшеницы раствором 0,05 мМ салициловой кислоты способствовала увеличению массы надземных и подземных частей растений (Рахматуллина, 2007). Вероятнее всего, для растений пшеницы салициловая и янтарная кислоты в высоких концентрациях 0,5–1 мМ, первоначально снижая энергию прорастания, впоследствии вызывают большую скорость роста вегетативных органов у молодых растений.

Если сравнить действие исследуемых кислот между сельскохозяйственными культурами, то можно отметить, что салициловая кислота чаще оказывала положительный эффект, чем янтарная, на растения овса. На растения пшеницы оба исследованных регулятора роста оказывали слабое воздействие, но на основании увеличения веса побега лучше рекомендовать использование янтарной кислоты, чем салициловой.

Для активации всхожести предпочтительнее использовать низкие концентрации салициловой и янтарной кислот. Для увеличения размеров или массы проростков растений рекомендуется использовать салициловую или янтарную кислоту в более высоких концентрациях 0,05–0,5 мМ.

Заключение

Обработка семян овса салициловой кислотой в концентрации 0,005 мМ повышала всхожесть растений овса на 75 %. В более высокой концентрации 0,05 мМ салициловая кислота увеличивала длину корня овса на 36 % и повышала сырой и сухой вес побега на 45 % и 56 % соответственно. На растения пшеницы предпосевная обработка салициловой кислотой повлияла слабо, только в концентрации 0,5 мМ наблюдалось снижение сырого веса корня на 59 %.

Предпосевная обработка растений овса янтарной кислотой в концентрации 0,5 мМ снижала энергию прорастания на 40 %, а в более низкой концентрации 0,005 мМ, наоборот, увеличивала этот показатель на 56 %. Также янтарная кислота в концентрации 0,005 мМ повышала всхожесть овса на 53 %.

У растений пшеницы янтарная кислота в высокой концентрации 0,5 мМ приводила к увеличению сырого и сухого веса побега на 30 % и 48 % соответственно.

При использовании правильно подобранных концентраций салициловой и янтарной кислот можно добиться повышения всхожести семян и увеличения роста и веса растений овса и пшеницы. Для растений овса предпочтительно использование салициловой кислоты в концентрациях 0,005–0,05 мМ. Для растений пшеницы лучше применять янтарную кислоту в концентрации 0,5 мМ.

Таким образом, предпосевную обработку семян растений овса и пшеницы салициловой и янтарной кислотами можно рассматривать в качестве метода улучшения роста растений при условии использования правильно подобранных концентраций.

Список литературы / References

Байбурина Э.В., Фазлутдинова А.И. (2015) Влияние салициловой кислоты на растения (теоретические аспекты). *Молодой ученый*, 7: 233–235 [Bayburina E. V., Fazlutdinova A. I. (2015) Effect of salicylic acid on plants (theoretical aspects). *Young Scientist* [Molodoi uchenyi], 7: 233–235 (in Russian)]

Беляев А.Б. (2000) *Методические указания к лабораторно-практическим занятиям по общему земледелию*. Воронеж, ВГУ, 43 с. [Belyaev A. B. (2000) *Methodical instructions for laboratory and practical exercises in general agriculture*. Voronezh, Voronezh State University, 43 p. (in Russian)]

Гланц С. (1998) *Медико-биологическая статистика*. М., Практика, 459 с. [Glantz S. (1998) *Biomedical statistics*. Moscow, Praktika, 459 p. (in Russian)]

Грабовская Н.И., Бабенко О.Н., Сафронова Н.М., Хусаинова Р.К. (2020) Особенности применения янтарной кислоты в качестве биостимулятора и адаптогена растений. *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки*, 1: 28–32 [Grabovskaya N. I., Babenko O. N., Safronova N. M., Khusainova R. K. (2020) Features of the use of succinic acid as a biostimulator and plant adaptogen. *Modern Science: Actual Problems of Theory and Practice. Series: Natural and Technical Sciences* [Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: estestvennye i tekhnicheskie nauki], 1: 28–32 (in Russian)]

Полонский В.И., Полякова И.С. (2014) Морфометрические показатели листьев *Syringa josikaea* Jacq. в оценке качества городской среды. *Вестник КрасГАУ*, 8: 130–133 [Polonskiy V. I., Polyakova I. S. (2014) Morphometric parameters of *Syringa josikaea* Jacq. leaves in the urban environment quality assessment. *Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University* [Vestnik KrasGAU], 8: 130–133 (in Russian)]

Рахманкулова З. Ф., Рахматуллина С. Р., Федяев В. В. (2006) Влияние салициловой кислоты на про/антиоксидантный статус и энергетический баланс проростков пшеницы. *Вестник Башкирского университета*, 11(4): 41–43 [Rakhmankulova Z. F., Rakhmatullina S. R., Fedyaev V. V. (2006) The effect of salicylic acid on the pro / antioxidant status and energy balance of wheat seedlings. *Bulletin of Bashkir University* [Vestnik Bashkirskogo universiteta], 11(4): 41–43 (in Russian)]

Рахматуллина С. Р. (2007) *Участие дыхательных путей в регуляции антиоксидантных систем у растений пшеницы. Автореф. дисс. на соиск. учен. степ. канд. биол. наук.* Уфа, 23 с. [Rakhmatullina S. R. (2007) *The involvement of the respiratory tract in the regulation of antioxidant systems in wheat plants. Abstract of dissertation for the degree of candidate of biological sciences.* Ufa, 23 p. (in Russian)]

Тарчевский И. А., Максютובה Н. Н., Яковлева В. Г., Гречкин А. Н. (1999) Янтарная кислота – миметик салициловой кислоты. *Физиология растений*, 46(1): 23–25 [Tarchevsky I. A., Maksyutova N. N., Yakovleva V. G., Grechkin A. N. (1999) Succinic acid is a salicylic acid mimetic. *Plant Physiology* [Fiziologiya rastenii], 46(1): 23–25 (in Russian)]

Тарчевский И. А. (2002) *Сигнальные системы клеток растений.* М., Наука, 294 с. [Tarchevsky I. A. (2002) *Signaling systems of plant cells.* Moscow, Nauka, 294 p. (in Russian)]

Цыганова Н. А., Воронкова Н. А., Дороненко В. Д., Балабанова Н. Ф. (2019) Влияние янтарной кислоты на фотосинтетическую активность яровой мягкой пшеницы. *Вестник Омского государственного аграрного университета*, 3: 13–20 [Tsyganova N. A., Voronkova N. A., Doronenko V. D., Balabanova N. F. (2019) The influence of succinic acid on the photosynthetic activity of spring soft wheat. *Bulletin of Omsk State Agrarian University* [Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta], 3: 13–20 (in Russian)]

Dolatabadian A., Modarres Sanavy S. A. M., Sharifi M. (2009) Effect of salicylic acid and salt on wheat seed germination. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B. Soil and Plant Science*, 59(5): 456–464

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

Movaghatian A., Khorsandi F. (2013) Effects of salicylic acid on wheat germination parameters under drought stress. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 13(12): 1603–1608

Prodhan M. Y., Munemasa S., Nahar M. N., Nakamura Y., Murata Y. (2018) Guard cell salicylic acid signaling is integrated into abscisic acid signaling via the Ca²⁺/CPK-dependent pathway. *Plant Physiology*, 178(1): 441–450

Raskin I. (1992) Role of salicylic acid in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 43: 439–463

Vasyukova N. I., Ozeretskovskaya O. L. (2007) Induced plant resistance and salicylic acid: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 43(4): 367–373

Vlot A. C., Dempsey D. A., Klessig D. F. (2009) Salicylic acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology*, 47: 177–206