

## Влияние янтарной кислоты на всхожесть и морфологические показатели проростков сортов яровой мягкой пшеницы на фоне осмотического стресса

Н. С. Рeger<sup>✉</sup>, младший научный сотрудник отдела технологии зерновых и кормовых культур  
Е. А. Иванова, кандидат сельскохозяйственных наук, научный сотрудник отдела технологии зерновых и кормовых культур

ФГБНУ Федеральный центр биологических систем и агротехнологий РАН

46000, г. Оренбург, ул. 9 Января, дом 29

<sup>✉</sup>orniish\_tzk@mail.ru

**Резюме.** Работу проводили с целью изучения посевных качеств семян, морфологических показателей проростков, различных по засухоустойчивости сортов яровой пшеницы при предпосевной обработке семян янтарной кислотой в условиях достаточного увлажнения и на фоне осмотического стресса. В работе представлены результаты лабораторного опыта по влиянию янтарной кислоты на посевные качества семян и морфологию проростков. Обработку семян проводили однократно по схеме: 1) контроль (дистиллированная вода) – 10 л/т семян; 2) янтарная кислота с концентрацией 0,5 мМ; 3) полиэтиленгликоль (ПЭГ 6000) с осмотическим давлением 0,15 Мпа; 4) янтарная кислота (0,5 мМ) + ПЭГ 6000 (0,15 Мпа). Обработка семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой оказала положительное влияние на развитие проростков как в условиях оптимального увлажнения, так и в условиях индуцированной засухи. Под действием янтарной кислоты на фоне недостаточного увлажнения повышалась энергия прорастания и всхожесть семян сортов Оренбургская 30, Оренбургская юбилейная, Ульяновская 105 на 1...5 %, увеличивалась масса 10 корешков у сорта Учитель на 20 % и у сорта Ульяновская 105 – на 21,45 %, средняя длина 1 корешка на сорте Оренбургская 30 на 10,3 %.

**Ключевые слова:** яровая мягкая пшеница, сорт, янтарная кислота, осмотический стресс, засухоустойчивость, семена.

**Для цитирования:** Рeger Н. С., Иванова Е. А. Влияние янтарной кислоты на всхожесть и морфологические показатели проростков сортов яровой мягкой пшеницы на фоне осмотического стресса // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. №2 (66). С. 36-41 doi:10.18286/1816-4501-2024-2-36-41

## The influence of succinic acid on germination and morphological parameters of seedlings of spring soft wheat varieties in case of osmotic stress

N. S. Reger<sup>✉</sup>, E. A. Ivanova

Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences

46000, Orenburg, January 9 st., 29; <sup>✉</sup>orniish\_tzk@mail.ru

**Abstract.** The work was carried out to study the sowing qualities of seeds, morphological parameters of seedlings of spring wheat varieties of different drought resistance during pre-sowing treatment of seeds with succinic acid under conditions of sufficient moisture and in combination with osmotic stress. The paper presents results of a laboratory experiment on the effect of succinic acid on the sowing qualities of seeds and the morphology of seedlings. Seed treatment was carried out once according to the following scheme: 1) control (distilled water) – 10 l/t of seeds; 2) succinic acid with a concentration of 0.5 mM; 3) polyethylene glycol (PEG 6000) with an osmotic pressure of 0.15 MPa; 4) succinic acid (0.5 mM) + PEG 6000 (0.15 MPa). Treatment of spring soft wheat seeds with succinic acid had a positive effect on development of seedlings, both under conditions of appropriate moisture and under conditions of induced drought. Under the influence of succinic acid against the background of insufficient moisture, the germination energy and seed germination of the varieties Orenburgskaya 30, Orenburgskaya Yubileynaya, Ulyanovskaya 105 increased by 1...5%, the weight of 10 roots of Uchitel variety increased by 20% and of Ulyanovskaya 105 variety by 21.45%, the average length of 1 root of Orenburgskaya 30 variety was 10.3%.

**Keywords:** spring soft wheat, variety, succinic acid, osmotic stress, drought resistance, seeds.

**For citation:** Reger N. S., Ivanova E. A. The influence of succinic acid on germination and morphological parameters of seedlings of spring soft wheat varieties in case of osmotic stress // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;2(66): 36-41 doi:10.18286/1816-4501-2024-2-36-41

### Введение

Для решения проблем продовольственной безопасности в условиях глобального изменения климата в мировой науке предлагаются комплексные подходы. В условиях степной зоны Южного Урала при резко континентальных природно-климатических условиях большое значение при возделывании зерновых культур имеет их засухоустойчивость. Засуха влияет не только на урожайность пшеницы, но и на её качество. Нарушения физиолого-биохимических процессов влияют на ростовые процессы, анатомию и морфологию растений [1, 2, 3].

Изменение состояния растения под действием осмотического стресса при изучении засухоустойчивости представляет особый интерес, так как через процессы роста и развития в растении реализуются его адаптационные возможности. Длина и масса ростков, развитие корневой системы проростков относятся к одним из основных критериев при оценке засухоустойчивости сортов. Ухудшение перечисленных показателей приводит к значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур [4, 5, 6]. Изучение состояния проростков растений путем проращивания семян в растворах осмотиков, имитирующих засуху в лабораторных условиях, позволяет за короткое время и с минимальными затратами дать оценку засухоустойчивости растений. В качестве осмотика чаще всего используется полиэтиленгликоль с молекулярной массой 6000 ед. (ПЭГ – 6000). Благодаря высокой молекулярной массе ПЭГ 6000 не проникает в клетки, но провоцирует сжатие протопласта, то есть имитирует состояние клеток в условиях засухи [7].

Применение биостимуляторов, регуляторов роста, биологически активных веществ снижает действие теплового стресса и последствий засухи, повышает урожайность сельскохозяйственных культур и качество получаемой продукции [8, 9, 10]. Янтарная кислота и ее соли является относительно не дорогим и перспективным стимулятором корнеобразования и регулятором роста для предпосевной обработки семян и вегетирующих растений.

Однако, есть данные о неоднозначности влияния янтарной кислоты на всхожесть и энергию прорастания при различных концентрациях: положительный эффект – при низких концентрациях и подавление ростовых процессов – при высоких концентрациях [11, 12]. Препарат разлагается растением или разрушается микрофлорой, экологически чисто перерабатывается, не причиняя вреда окружающей среде [12, 13, 14]. Использование и изучение влияния янтарной кислоты имеет актуальное значение в растениеводстве.

Цель исследования: изучение посевных качеств семян, морфологических показателей проростков различных по засухоустойчивости сортов пшеницы при предпосевной обработке семян янтарной кислотой в условиях достаточного увлажнения и на фоне осмотического стресса.

### Материалы и методы

Материалом для исследований послужили: семена четырех сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.), янтарная кислота, ПЭГ 6000 (полиэтиленгликоль).

Характеристика препаратов:

- Янтарная кислота – универсальный промежуточный метаболит цикла трикарбоновых и дикарбоновых кислот (цикла Г. А. Кребса), образующийся путем окислительного декарбоксилирования из  $\alpha$ -кетоглutarовой (щавелевоуксусной) кислоты.

- Для имитации недостатка влаги использовали полимерный препарат полиэтиленгликоль (ПЭГ), который практически не проникает в ткани растений. Полиэтиленгликоль (ПЭГ 6000) – полимер на основе этиленгликоля с молярной массой в 6000 единиц в виде воскообразных чешуек или плотной массы белого цвета.

В растительных между слоями фильтровальной бумаги в термостате ТСО-1М при температуре  $+20 \pm 2$  °С проращивали семена яровой пшеницы в темноте, предварительно обработав их изучаемыми препаратами по схеме:

1. Контроль (дистиллированная вода) – 10 л/т семян.
2. Янтарная кислота с концентрацией – 0,5 мМ.
3. Полиэтиленгликоль (ПЭГ 6000) с осмотическим давлением 0,15 МПа.
4. Янтарная кислота (0,5 мМ) + ПЭГ 6000 (0,15 Мпа).

Опыт проводился в четырехкратной повторности (25 семян в каждом повторении). Объекты исследования – сорта яровой мягкой пшеницы: Учитель, Оренбургская 30, Оренбургская юбилейная, Ульяновская 105.

На третьи сутки проводили учет энергии прорастания, на седьмые – определение всхожести (ГОСТ 12038–84). Одновременно с определением энергии прорастания проводили подсчет числа, массы и длины корешков, количества и массы ростков. Оценка достоверности выборочных средних проведена по Б.А. Доспехову (*Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. М.: Книга по требованию. 2012. 352 с.*).

Статистический анализ полученных данных выполнен с помощью программы NCSS and PASS2000.

### Результаты

Энергия прорастания и всхожесть изученных сортов яровой мягкой пшеницы повысились под влиянием янтарной кислоты в пределах от 1 % до 3 % по всем вариантам опыта по сравнению с контрольными (табл. 1). Индуцированная засуха оказала отрицательное воздействие на посевные качества семян; существенное снижение энергии прорастания и всхожести отмечено на сортах Учитель (19 % и 9 % соответственно) и Ульяновская 105 (18 % и 6 % соответственно). У сортов Оренбургская 30 и Оренбургская юбилейная снижение данных

#### 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)

показателей варьировало от 3 % до 5 %. Янтарная кислота уменьшала негативное воздействие на посевные качества семян «искусственной засухи», созданной полиэтиленгликолем. Энергия прорастания и всхожесть семян у сорта Учитель увеличились на 17 % и 4 % соответственно относительно варианта, обработанного ПЭГ-6000. У остальных изучаемых сортов посевные качества повысились в пределах от 1 % до 5 %.

Таблица 1. Влияние обработки семян мягкой пшеницы янтарной кислотой и ПЭГ-6000 на посевные качества

Вариант опыта	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
<b>Учитель</b>		
Контроль	90	94
Янтарная кислота	92	95
ПЭГ- 6000	71	85
Янтарная кислота + ПЭГ – 6000	88	89
<b>Оренбургская 30</b>		
Контроль	83	85
Янтарная кислота	86	88
ПЭГ- 6000	80	83
янтарная кислота + ПЭГ – 6000	83	85
<b>Оренбургская юбилейная</b>		
Контроль	85	89
Янтарная кислота	88	91
ПЭГ- 6000	80	85
янтарная кислота + ПЭГ – 6000	82	90
<b>Ульяновская 105</b>		
Контроль	90	91
Янтарная кислота	91	92
ПЭГ- 6000	72	85
янтарная кислота + ПЭГ – 6000	73	88
HCP <sub>0,5</sub>	6,4	4,3
HCP <sub>0,5</sub> A (сорт)	4,5	3,0
HCP <sub>0,5</sub> B (вариант опыта)	4,5	3,0
HCP <sub>0,5</sub> AB	4,5	3,0

Обработка семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой способствовала увеличению массы 10 корешков и ростков (табл. 2). Наибольшее увеличение массы корешков 10 семян отмечено у сорта Оренбургская 30 (22,2 %), массы 10 ростков у сорта Оренбургская юбилейная (18,2 %). Наименьшее влияние относительно других изучаемых сортов предпосевная обработка янтарной кислотой оказала на массу корешков и массу ростков 10 семян у сорта Учитель, увеличив данные показатели на 9 % и 5,8 % по сравнению с контрольными вариантами. У сорта Ульяновская 105 масса 10 корешков и 10 ростков увеличились одинаково на 16,7 %.

Под воздействием индуцированной засухи масса 10 ростков изучаемых сортов уменьшилась на 41,6...58,8 % по сравнению с контрольными вариантами. Негативный эффект от обработки ПЭГ-6000 также был отмечен по массе 10 корешков – на 11,1...31,8 % относительно контрольных вариантов.

Таблица 2. Влияние обработки семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой и ПЭГ – 6000 на морфологические показатели проростков

Вариант опыта	Масса корешков 10 семян, г	Масса ростков 10 семян, г
<b>Учитель</b>		
Контроль	0,22	0,17
Янтарная кислота	0,24	0,18
ПЭГ- 6000	0,15	0,07
Янтарная кислота + ПЭГ – 6000	0,18	0,08
<b>Оренбургская 30</b>		
Контроль	0,18	0,12
Янтарная кислота	0,22	0,13
ПЭГ- 6000	0,16	0,07
янтарная кислота + ПЭГ – 6000	0,17	0,07
<b>Оренбургская юбилейная</b>		
Контроль	0,20	0,11
Янтарная кислота	0,23	0,13
ПЭГ- 6000	0,16	0,06
янтарная кислота + ПЭГ – 6000	0,18	0,07
<b>Ульяновская 105</b>		
Контроль	0,18	0,12
Янтарная кислота	0,21	0,14
ПЭГ- 6000	0,14	0,07
янтарная кислота + ПЭГ – 6000	0,17	0,08
HCP <sub>0,5</sub>	0,019	0,017
HCP <sub>0,5</sub> A (сорт)	0,013	0,012
HCP <sub>0,5</sub> B (вариант опыта)	0,013	0,012
HCP <sub>0,5</sub> AB	0,013	0,012

Обработка семян янтарной кислотой на фоне «искусственной засухи» способствовала повышению массы 10 корешков более существенно на сортах: Учитель (20 %) и Ульяновская 105 (21,4 %). Масса ростков увеличивалась незначительно.

Средняя длина 1 ростка и средняя длина 1 корешка проростков яровой мягкой пшеницы изучаемых сортов увеличились под действием янтарной кислоты (табл. 3). У сорта Учитель средняя длина 1 ростка повысилась на 1,9 %, у остальных сортов превышение данного показателя варьировало от 4,4 % до 5,3 %. Увеличение средней длины 1 корешка в варианте с янтарной кислотой у сорта Ульяновская 105 составил 9,1 %; у сортов – Учитель, Оренбургская 30, Оренбургская юбилейная оно не превышало 1,5 %.

В вариантах, где использовался полиэтиленгликоль, средняя длина 1 ростка уменьшилась на 35,5 %, средняя длина 1 корешка на 19,8 % в сравнении с контрольными вариантами. В условиях индуцированной засухи обработка янтарной кислотой увеличивала среднюю длину 1 ростка на 5,5 % только у сорта Оренбургская юбилейная, на остальных сортах изменения данного показателя не наблюдалось. Данный показатель на 10,3 % увеличился у сорта Оренбургская 30, у сортов Учитель, Оренбургская юбилейная, Ульяновская он повышался в пределах 1,2...4,1 %.

Статистический регрессионный анализ влияния факторов показал, что в условиях достаточного

увлажнения в контрольных вариантах на сорте Учитель суммарная длина корешков зависела на 33,5 % от числа корешков, на 64,3 % от средней длины корня (табл. 4). Обработка янтарной кислотой изменила данное соотношение, увеличив долю влияния фактора числа корешков до 72,3 % и сократив долю влияния фактора средней длины корня до 26,8 %. Создание искусственной засухи и обработка янтарной кислотой на фоне препарата ПЭГ-6000 определили долю влияния факторов числа корней на 29,9 % и 32,7 % соответственно, долю влияния факторов средней длины корня на 67,1 % и 66,6 % соответственно на суммарную длину зародышевых корешков.

Таблица 3. Влияние янтарной кислоты на фоне осмотического стресса на длину ростков и корешков

Вариант опыта	Средняя длина 1 ростка, см	Средняя 1 длина корешка, см
Учитель (контроль)	1,55±0,06	2,71±0,09
Учитель (янтарная кислота)	1,58±0,08	2,75±0,10
Учитель (ПЭГ– 6000)	1,00±0,04	2,43±0,10
Учитель (янтарная кислота + ПЭГ – 6000)	1,00±0,05	2,53±0,08
Оренбургская 30 (контроль)	1,39±0,05	2,88±0,10
Оренбургская 30 (янтарная кислота)	1,46±0,04	2,91±0,11
Оренбургская 30 (ПЭГ– 6000)	0,82±0,04	2,31±0,10
Оренбургская 30 (янтарная кислота + ПЭГ – 6000)	0,82±0,03	2,55±0,10
Оренбургская юбилейная (контроль)	1,35±0,04	2,57±0,09
Оренбургская юбилейная (янтарная кислота)	1,41±0,04	2,59±0,10
Оренбургская юбилейная (ПЭГ– 6000)	0,96±0,04	2,39±0,11
Оренбургская юбилейная (янтарная кислота + ПЭГ – 6000)	1,03±0,05	2,47±0,09
Ульяновская 105 (контроль)	1,32±0,06	2,85±0,10
Ульяновская 105 (янтарная кислота)	1,39±0,06	3,11±0,09
Ульяновская 105 (ПЭГ– 6000)	1,00±0,05	2,45±0,10
Ульяновская 105 (янтарная кислота + ПЭГ – 6000)	1,00±0,04	2,48±0,07

Суммарная длина зародышевых корешков на контрольных вариантах у сортов Оренбургская 30, Оренбургская юбилейная, Ульяновская 105 в основном зависела от средней длины корня на 87,9 %, 58,5 %, 91,6 % соответственно. Применение янтарной кислоты увеличило долю влияния фактора число корешков по сравнению с контрольными вариантами на 10,6 % и 26,8 % у сортов Оренбургская 30 и Ульяновская 105, при этом доля влияния средней длины корня все еще оставалась определяющей (69,8 % и 63,5 % соответственно).

Таблица 4. Доля влияния факторов, определяющих суммарную длину зародышевых корешков сортов яровой мягкой пшеницы

Вариант опыта	Факторы	
	Число корешков, %	Средняя длина корня, %
Учитель (контроль)	33,5	64,3
Учитель (янтарная кислота)	72,3	26,8
Учитель (ПЭГ– 6000)	29,9	67,1
Учитель (янтарная кислота + ПЭГ – 6000)	32,7	66,6
Оренбургская 30 (контроль)	9,8	87,9
Оренбургская 30 (янтарная кислота)	20,4	69,8
Оренбургская 30 (ПЭГ– 6000)	2,8	96,4
Оренбургская 30 (янтарная кислота + ПЭГ – 6000)	9,9	86,5
Оренбургская юбилейная (контроль)	37,8	58,5
Оренбургская юбилейная (янтарная кислота)	22,5	74,9
Оренбургская юбилейная (ПЭГ– 6000)	54,6	44,7
Оренбургская юбилейная (янтарная кислота + ПЭГ – 6000)	20,2	79,4
Ульяновская 105 (контроль)	8,4	91,6
Ульяновская 105 (янтарная кислота)	35,2	63,5
Ульяновская 105 (ПЭГ– 6000)	0,2	99,8
Ульяновская 105 (янтарная кислота + ПЭГ – 6000)	16,5	83,4

В условиях недостаточного увлажнения доля влияния фактора средняя длина корня была существенно выше у сортов Оренбургская 30 (96,4 %) и Ульяновская 105 (99,8 %), при добавлении янтарной кислоты у данных сортов увеличилось число корней на 7,1 % и 16,3 % соответственно по отношению к вариантам, обработанных ПЭГ-6000.

У сорта Оренбургская юбилейная суммарную длину зародышевых корешков на фоне индуцированной засухи определял фактор число корешков, который был выше доли влияния фактора средней длины корня на 9,9 %. Применение янтарной кислоты на фоне недостаточного увлажнения у данного сорта повысило долю влияния фактора средней длины корня (79,4 %), в то время как доля влияния фактора число корней составляло 20,2 %.

#### Обсуждение

При применении янтарной кислоты происходит увеличение прироста биомассы проростков, стимулируется рост корневой системы, повышается энергия прорастания и всхожесть [16].

Обработка семян яровой мягкой пшеницы янтарной кислотой при оптимальном увлажнении повышала энергию прорастания и всхожесть семян от 1 % до 3 %, способствовала значительному увеличению массы 10 корешков у сорта Оренбургская 30 (22,2 %) и массы 10 ростков у сорта Оренбургская юбилейная (18,2 %), повысила среднюю длину 1 ростка у сорта Ульяновская 105 (9,1 %). По данным статистического регрессионного анализа при применении янтарной кислоты доля влияния фактора число корешков составила 72,3 % у сорта Учитель, доля влияния фактора средняя длина корня у сортов Оренбургская 30, Оренбургская юбилейная, Ульяновская 105 составила 69,8 %, 74,9 %, 63,5 % соответственно. На фоне индуцированной засухи янтарная кислота повышала энергию прорастания и

всхожесть семян изучаемых сортов, способствовала увеличению массы 10 корешков у сортов Учитель (20 %) и Ульяновская 105 (21,4 %).

#### Заключение

Влияние янтарной кислоты на проростки яровой мягкой пшеницы зависело от условий выращивания. При оптимальном увлажнении янтарная кислота повышала энергию прорастания и всхожесть семян, увеличивала массу ростков 10 семян и корешков 10 семян, среднюю длину 1 ростка, среднюю длину 1 корешка. Действие янтарной кислоты уменьшало негативное влияние полиэтиленгликоля на посевные качества семян и морфологию проростков. Статистический регрессионный анализ показал, что суммарная длина зародышевых корешков зависит в основном от средней длины корня.

#### Литература

1. Lubyanova A., Bezrukova M., Shcirova F. // Involvement of Nitric Oxide in Methyl Jasmonate-Mediated Regulation of Water Metabolism in Wheat Plants under Drought Stress. *Stressors*. 2022. Vol. 2. No. 4. 477-492. doi:10.3390/stresses2040033.
2. Kapur S., Akc E. Soildegradation: Global assessment. *Lands cape and land capacity* // CRCPress, Boca Raton. 2020. P. 199-210.
3. Agnieszka Ostrowska, Michał Dziurka, Katarzyna Hura, Tomasz Hura. A delay in the senescence during a rehydration following soil drought is a precondition for limiting yield loss in triticale // *Int. Agrophys*. 2023. Vol. 37. No. 1. P. 69–78. doi:10.31545/intagr/156670.
4. Калинина А. В., Даштоян Ю. В. Влияние осмотического стресса на рост проростков яровой мягкой пшеницы // *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2019. № 3. С. 10-13.
5. Панфилов А. Л., Абдрашитов Р. Р. Влияние биоудобрений и осмотического стресса на морфологические показатели проростков ярового ячменя // *Вестник РУДН. Серия: Агронимия и животноводство*. 2022. №. 17 (4). С. 425-436. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-425-436.
6. Лубянова А. Р., Масленникова Д. Р., Шакирова Ф. М. Защитное действие 24-эпибрассинолида на растения пшеницы в условиях нарушения водного режима // *Биомика*. 2021. Т. 13. № 1. С. 47-53. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs. 2021-5.
7. Методи оцінки посухостійкості селекційного матеріалу пшениці / Пикало С., Демидов О., Юрченко Т. и др. // *Вісник Львівського університету. Серія. біологічна*. 2020. Вип. 82. С. 63–79. doi: 10.30970/vlubs.2020.82.05.
8. Цыганова Н. А., Воронкова Н. А. Применение органических кислот в растениеводстве // *Проблемы и перспективы обеспечения агропромышленного комплекса регионов: сборник докладов международной научно-практической конференции*. 2021. С. 72- 75.
9. Determination of the influence of biostimulants on soil properties and field crop yields / P. Findura, I. Šindelková, R. Rusinek, et al. // *Int. Agrophys*. 2022. Vol. 36. No. 4. P. 351–35. doi:10.31545/intagr/155955.
10. Применение ростостимуляторов при возделывании яровой мягкой пшеницы / Н.А. Воронкова, Н.Ф. Балабанова, В.А. Волкова и др. // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34. № 10. С. 73-77.
11. Королев К. П., Аксенов С. А., Пак Д. В. Влияние янтарной кислоты на способность семян льна масличного к прорастанию // *Проблемы и перспективы развития органического сельского хозяйства. Сборник трудов международной научно-практической конференции*. 2020. С. 196-203.
12. Особенности применения янтарной кислоты в качестве биостимулятора и адаптогена растений / Н. И. Грабовская, О. Н. Бабенко, Н. М. Сафронова и др. // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: естественные и технические науки*. 2020. №1. С. 28–32.
13. Змушко А. А., Красинская Т. А. Применение янтарной кислоты в растениеводстве // *Плодоводство. Сборник научных трудов*. Минск, 2019. С. 288-292.
14. 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.* // *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. 2023. 16(1). С. 54–63. EDN: NVSQPN.
15. Влияние янтарной кислоты на фотосинтетическую активность яровой мягкой пшеницы // Н. А. Цыганова, Н. А. Воронкова, В. Д. Дороненко и др. // *Вестник Омского аграрного университета*. 2019. № 3 (35). С. 13-20.

#### References

1. Lubyanova A., Bezrukova M., Shcirova F. // Involvement of Nitric Oxide in Methyl Jasmonate-Mediated Regulation of Water Metabolism in Wheat Plants under Drought Stress. *Stressors*. 2022. Vol. 2. No 4. 477-492. doi:10.3390/stresses2040033.
2. Kapur S., Akc E. Soildegradation: Global assessment. Lands cape and land capacity // CRCPress, Boca Raton. 2020. P. 199-210.
3. Agnieszka Ostrowska, Michał Dziurka, Katarzyna Hura, Tomasz Hura. A delay in the senescence during a rehydration following soil drought is a precondition for limiting yield loss in triticale // *Int. Agrophys*. 2023. Vol. 37. No 1. P. 69–78. doi:10.31545/intagr/156670.
4. Kalinina A.V., Dashtoyan Yu.V. The influence of osmotic stress on growth of spring soft wheat seedlings // *Agrarian Vestnik of the South-East*. 2019. No 3. P. 10-13.
5. Panfilov A. L., Abdrashitov R. R. The influence of biofertilizers and osmotic stress on morphological parameters of spring barley seedlings // *Vestnik of Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and animal husbandry*. 2022. No 17(4). P. 425-436. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-4-425-436.
6. Lubyanova A. R., Maslennikova D. R., Shakirova F. M. Protective effect of 24-epibrassinolide on wheat plants under conditions of disturbance of the water regime // *Biomika*. 2021. Vol. 13. No 1. P. 47-53. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs. 2021-5.
7. Methods for assessing the dryness of wheat breeding material / Pikalo S., Demidov O., Yurchenko T. et al. // *Vestnik of Lvov University. Series biological sciences*. 2020. Iss. 82. P. 63–79. doi: 10.30970/vlubs.2020.82.05.
8. Tsyganova N. A., Voronkova N. A. Application of organic acids in crop production // *Problems and prospects for ensuring the agro-industrial complex of regions: collection of reports of the international scientific-practical conference*. 2021. P. 72-75.
9. Determination of the influence of biostimulants on soil properties and field crop yields / P. Findura, I. Šindelková, R. Rusinek, et al. // *Int. Agrophys*. 2022. Vol. 36. No. 4. P. 351–35. doi:10.31545/intagr/155955.
10. Application of growth stimulators in cultivation of spring soft wheat / N.A. Voronkova, N.F. Balabanova, V.A. Volkova, et al. // *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*. 2020. V. 34. No 10. P. 73-77.
11. Korolev K. P., Aksenov S. A., Pak D. V. The influence of succinic acid on the ability of oilseed flax seeds to germinate // *Problems and prospects for development of organic agriculture. Collection of proceedings of the international scientific and practical conference*. 2020. P. 196-203.
12. Features of usage of succinic acid as a biostimulant and plant adaptogen / N. I. Grabovskaya, O. N. Babenko, N. M. Safronova, et al. // *Modern science: current problems of theory and practice. Series: natural and technical sciences*. 2020 No 1. P. 28–32.
13. Zmushko A. A., Krasinskaya T. A. Application of succinic acid in plant cultivation // *Fruit growing. Collection of scientific papers*. Minsk, 2019. P. 288-292.
14. Yakunina A.V. The influence of salicylic and succinic acids of different concentrations on germination and morphometric parameters of *Avena sativa* L. and hard wheat *Triticum durum* L. // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2023. Vol. 16. No. 1. P. 54–63. EDN: NVSQPN.
15. Influence of succinic acid on photosynthetic activity of spring soft wheat // N. A. Tsyganova, N. A. Voronkova, V. D. Doronenko et al. // *Vestnik of Omsk Agrarian University*. 2019. No. 3 (35). P. 13-20.