
ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ, МИКРОБИОЛОГИЯ

**Оценка применения криопротекторов на яровом рапсе
в условиях модельного низкотемпературного стресса**

**Вадим Александрович Крылов^{1,2✉}, Александр Вячеславович Большов²,
Татьяна Эдуардовна Ефрейторова²**

¹Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
²АО Фирма «Август», Москва, Россия

✉ **Автор, ответственный за переписку:** v.krylov@avgust.com

Аннотация

В статье отражены результаты изучения экспериментальных образцов криопротекторов различного состава в условиях модельного опыта. Цель исследований – изучить влияние криопротекторов на устойчивость ярового рапса к низкотемпературному стрессу. В качестве объекта исследований представлен яровой рапс сорта Оредеж 6. В качестве криопротекторов использовались препараты, содержащие в своем составе комплекс химических веществ: полисахариды, аминокислоты, глицерин, микроэлементы в хелатной форме. Схема опыта имела следующий вид: 1) контроль (вода), без обработки; 2) контроль (вода), заморозка; 3) криопротектор ЛП 8; 4) криопротектор ЛП 10. За 24 ч до заморозки яровой рапс в фазе 2–3 листьев подвергался обработке криопротекторами. Заморозку растений проводили в лабораторном морозильнике при температуре -10°C . Замораживание осуществляли 2 раза по 16 ч с межинтервальным периодом 8 ч. Учет массы производился весовым методом, площадь листьев измерялась с помощью программы Сапорео, содержание сахаров определялось рефрактометрическим методом, выход электролитов определяли при помощи кондуктометра, измерение активности хлоропластов проводили с использованием портативного N-тестера. После заморозки выполняли оценку действия криопротекторов. Результаты опыта показывают, что у растений, предварительно обработанных криопротекторами ЛП 8 и 10, повысилась устойчивость к низкотемпературному воздействию. Об этом свидетельствуют повышение в среднем массы растений на 26,8% и увеличение площади листьев на 19,1%, увеличение содержания сахаров в 2 раза, индекса стабильности мембраны на 6,7% и активности фотосинтеза на 18% по сравнению с контрольным вариантом (вода) с заморозкой. Полученные результаты дают возможность в дальнейшем продолжить исследования в полевых условиях.

Ключевые слова

Яровой рапс, низкотемпературный стресс, криопротекторы, модельный опыт

Для цитирования

Крылов В.А., Большов А.В., Ефрейторова Т.Э. Оценка применения криопротекторов на яровом рапсе в условиях низкотемпературного стресса // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 4. С. 90–100.

Cryoprotectant evaluation in spring rape under model low-temperature stress

Vadim A. Krylov^{1,2}✉, Aleksandr V. Bolshov², Tatiana E. Efreytorova²

¹Russian State Agrarian University –
Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

²JSC Firma Avgust, Moscow, Russia

✉Corresponding author: v.krylov@avgust.com

Abstract

This study investigated the effects of cryoprotectants with various compositions on the low-temperature stress resistance of spring rape (Oredezh 6 variety) in a model experiment. The cryoprotectants used were preparations containing a complex of chemical substances, including polysaccharides, amino acids, glycol, and chelated microelements. The experimental design included the following treatments: 1) control (water), no freezing; 2) control (water), freezing; 3) cryoprotector LP 8; and 4) cryoprotector LP 10. Twenty-four hours prior to freezing, spring rape plants in the 2–3 leaf phase were treated with cryoprotectors. Plants were frozen twice in laboratory freezers at -10°C for 16-hour periods, with an 8-hour interval between freezing cycles. Plant weight was measured, leaf area was determined using the Saporeo program, sugar content was assessed via refractometry, electrolyte leakage was measured using a conductometer, and chloroplast activity was assessed using a portable N-tester. Following the freezing treatments, the effects of cryoprotectors were evaluated. Results showed that plants treated with cryoprotectors LP 8 and LP 10 exhibited increased resistance to low-temperature stress. This was evidenced by average increases of 26.8% in plant weight, 19.1% in leaf area, a two-fold increase in sugar content, a 6.7% increase in membrane stability index, and an 18% increase in photosynthetic activity compared to the freezing control (water). These findings suggest avenues for further research in this area.

Keywords

Spring rape, low-temperature stress, cryoprotectors, model experiment

For citation

Krylov V.A., Bolshov A.V., Efreytorova T.E. Cryoprotectant evaluation in spring rape under model low-temperature stress. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025. No. 4. P. 90–100.

Введение

Introduction

Одним из ведущих факторов в формировании продуктивности и качества растениеводческой продукции является абиотический стресс – в частности, низкие температуры. Практика сезона прошлого 2024 г. показывает, что пришедшие на территорию РФ возвратные заморозки привели к гибели более 1 млн га посевов, из них около 850 тыс. приходится на зерновые и около 700 тыс. га – на зернобобовые, технические и садовые культуры [1]. В большинстве своем от низкотемпературного стресса страдают плодовые культуры [2, 3]. Так, возвратные заморозки в 2022 г., продолжавшиеся в течение 2,5 ч в Вирджинии и США, привели к 80%-ному повреждению урожая черешни, 15–35%-му повреждению цветочных почек яблонь и 15%-му повреждению урожая персиков [4]. Однако нередко в результате воздействия низкотемпературного

стресса повреждаются и важные масличные культуры – такие, как рапс [5, 6]. Все это порождает колоссальные экономические проблемы для аграриев.

Общеизвестно, что основное повреждающее действие при низкотемпературном стрессе на растительный организм оказывает льдообразование [7]. Образовавшиеся в межклетниках кристаллы льда обезвоживают клетку и одновременно наносят механическое повреждение цитоплазмы. При наступлении низкотемпературного стресса растения запускают каскад сигнального пути с участием Ca^{2+} канала, активных форм кислорода (АФК) и гормонального баланса, после чего происходит экспрессия генов с активацией функциональных белков. Адаптивные механизмы растений к холоду включают в себя следующие уровни: 1 – морфологическая адаптация (уменьшение листьев, утолщение эпидермиса и т.д.); 2 – биохимическая адаптация (синтез и накопление сахаров, аминокислот, фитогормонов, бетаины, вторичные метаболиты); 3 – физиологическая адаптация (активность хлоропластов, размер устьиц); 4 – молекулярная адаптация (синтез стресс-чувствительных белков) [8].

Для частичной защиты и сохранения потенциала продуктивности культур в условиях низкотемпературного стресса применяют криопротекторы [9–13]. Коммерческий рынок криопротекторов включает в себя разнообразное количество продуктов. В их состав могут входить аминокислоты, сахара, экстракт морских водорослей (ЭМВ), гликоли, макро-, микроультраэлементы, фитогормоны, различные органические кислоты, вторичные метаболиты растений. По механизму действия коммерческие криопротекторы условно подразделяются на 3 группы: 1) предотвращают замерзание; 2) повышают устойчивость к замерзанию; 3) комбинация – предотвращают/повышают устойчивость к замерзанию [14].

Использование криопротекторов является ключевой адаптивной стратегией, которая усиливает устойчивость растений к низкотемпературному стрессу и способствует выживанию в условиях замерзания [4]. Поэтому разработка эффективных криопротекторов и стратегия их применения являются одними из ключевых задач современного земледелия.

Цель исследований: изучить влияние криопротекторов на устойчивость ярового рапса сорта Оредеж 6 к низкотемпературному стрессу.

Методика исследований

Research method

Исследования проводились в лаборатории искусственного климата АО Фирма «Август». Для проведения опыта были использованы растительные объемы 2 л с почвогрунтом «Профи Микс». В каждую растительную емкость помещались по 10 семян ярового рапса. Повторность каждого варианта – 5-кратная.

В качестве тест-культуры был использован яровой рапс сорта Оредеж 6. Растения рапса до стрессового фактора выращивались в климатической камере общей площадью 16 м²: освещение – 3 лампы ДРИЗ 600W/220V; 4 лампы ДНАЗ 600W/220V, 20 000 лк режимы; кондиционирование – кондиционер прецизионный (вентиляция через воздухопроводы); освещение «День» (в течение 8–24 ч при температуре воздуха +24°C, относительной влажности воздуха 70%); «Ночь» (в течение 24–8 ч с при температуре воздуха +21°C, относительной влажности воздуха 80%).

В фазу развития культуры 2–3 листьев проводили обработку растений согласно схеме опыта. Схема опыта включала следующие варианты:

- 1) контроль (вода), без заморозки;
- 2) контроль (вода), заморозка;
- 3) криопротектор ЛП 8;
- 4) криопротектор ЛП 10.

В качестве криопротекторов были использованы экспериментальные наработки, не имеющие аналогов на российском рынке. Криопротектор ЛП 8 в своем составе имел подобранные в нужной дозировке полисахариды, гликоль и микроэлементы в хелатной форме; в состав криопротектора ЛП 10 входили свободные аминокислоты, гликоль и микроэлементы в хелатной форме.

После обработки растения подвергали заморозке 2 раза по 16 ч при температуре -10°C . Предварительное закаливание растений не проводилось, тем самым создавались экстремальные условия для культуры. Интервал между двумя заморозками составил 8 ч при температуре $+24^{\circ}\text{C}$, при влажности 70%. В исследованиях использовали горизонтальный лабораторный морозильник. После двух заморозок производили замеры изучаемых параметров. Массу растений измеряли при помощи лабораторных весов Merteck M-ER122 ACF-3000.05, площадь листьев – с использованием программы Сапорео, содержание сахаров определяли рефрактометрическим методом на приборе ST335A [15], выход электролитов – при помощи кондуктометра Hanna HI 9835 [16] с последующим расчетом индекса стабильности мембран (MSI) [17], оценка активности хлоропластов осуществлялась портативным прибором N-тестер. Биометрические показатели измерялись в 20-й, аналитические измерения – в 5-кратной повторности. Статистическую обработку данных производили с использованием программы Microsoft Office Excel 2010. Оценку достоверности результатов выполняли с помощью наименьшей существенной разности на 5%-м уровне значимости (HCP_{05}).

Результаты и их обсуждение

Results and discussion

Полученные результаты (табл. 1) проведенного модельного опыта свидетельствуют о том, что растения, подверженные действию низких отрицательных температур, по-разному переносят стресс.

Таблица 1

Влияние криопротекторов на массу ярового рапса в условиях низкотемпературного стресса (в пересчете на 1 растение)

Table 1

Cryoprotectant effect on spring rape mass under low-temperature stress (per 1 plant)

Вариант	Среднее значение, г	Уменьшение к контролю, г	Уменьшение к контролю, %
Контроль (вода), без заморозки	3,4	–	–
Контроль (вода), заморозка	1,2	2,2	63,5
Криопротектор ЛП 8	1,9	1,5	42,7
Криопротектор ЛП 10	2,4	1,0	30,7
HCP_{05}	0,6	–	–

Наименьшая масса растений (1,2 г), а, следовательно, замедленный синтез сухого вещества, отмечался в варианте «Контроль (вода), заморозка», что на 2,2 г, или на 63,5%, меньше значений контрольных растений, которые не подвергались заморозке. Обработка ярового рапса опытными образцами криопротекторов способствовала в меньшей степени уменьшению массы растений относительно контрольного варианта с заморозкой. Масса растений в варианте с криопротектором ЛП 8 составила 1,9 г, что на 42,7% меньше данных показателей на варианте контроля (вода) без обработки. Обработка растений криопротектором ЛП 10 позволила снизить уменьшение массы растений на 0,5 г (или на 8%) по сравнению с вариантом криопротектора ЛП 8 и на 1,2 г (или на 32,8%) относительно варианта контроля (вода), заморозки.

При проведении опыта была выполнена оценка влияния обработки растений рапса криопротекторами ЛП 8, ЛП 10 на площадь листьев (табл. 2). Обработка криопротекторами способствовала повышению площади листьев у ярового рапса от 16,3 до 22,0% относительно контрольного варианта с заморозкой. Стоит отметить, что разница в площади ассимиляционной поверхности между вариантами контроля без заморозки и с заморозкой составила 62,1%.

С проявлением заморозков в растительных клетках растений увеличивается содержание низкомолекулярных сахаров как ответная реакция на низкотемпературный стресс. По мере воздействия стресс-фактора количество сахаров в клетке уменьшается, происходит их расходование на поддержание стабильности клеточной мембраны, уменьшение свободной воды, нейтрализация АФК, запуск экспрессии генов и т.д. [18]. По результатам опыта по содержанию сахаров в растениях рапса (табл. 3) отмечено снижение их содержания в контрольном варианте без обработки криопротекторами ЛП8, ЛП10. Это может свидетельствовать о расходовании растениями запасных веществ в период низких, повреждающих температур. Применение криопротекторов ЛП 8 и ЛП 10 позволило стабилизировать содержание сахаров в растениях до нормального уровня (контроль без обработки).

Таблица 2

Влияние криопротекторов на площадь листьев ярового рапса в условиях низкотемпературного стресса

Table 2

Cryoprotectant effect on spring rape leaf area of under low-temperature stress

Вариант	Площадь, см ² (1 растения)	Уменьшение	
		см ²	%
Контроль (вода), без заморозки	87,9	–	–
Контроль (вода), заморозка	33,3	54,6	62,1
Криопротектор ЛП 8	47,6	40,3	45,9
Криопротектор ЛП 10	52,6	35,3	40,1
НСР ₀₅	6,7	–	

**Физиолого-биохимические параметры растения рапса
в зависимости от способа обработки**

Table 3

**Physiological and biochemical parameters of spring rape plants depending
on the processing method**

Вариант	C ₁ , выход элеткр. мкСм/см	C ₂ , выход элеткр. мкСм/см	MSI, %	Сахара, %	N-тестер
Контроль (вода), без заморозки	27,7	948,2	97,2	0,6	382
Контроль (вода), заморозка	125,1	1195	90,5	0,3	295
Криопротектор ЛП 8	28,7	1020,4	97,3	0,7	338
Криопротектор ЛП 10	29,2	1025,8	97,2	0,6	361
НСР ₀₅	–		0,5	0,1	31,4

Помимо сахаров, одним важным показателем оценки низкотемпературного стресса является определение выхода электролитов из клетки растений [17]. Проведенные исследования показали, что индекс стабильности мембраны на контрольном варианте без заморозки составил 97,2%, в то время как на варианте контроля, только уже с заморозкой, индекс отмечался на уровне 90,5%, или произошло его снижение под действием низкотемпературного стресса на 6,7%. Обработка растений криопротекторами ЛП 8 и ЛП 10 позволила стабилизировать функционирование клеточных мембран рапса; показатели MSI находились на уровне контрольных значений без заморозки. Измерение N-тестером растений ярового рапса выявило, что в условиях заморозки на контрольном варианте активность процессов фотосинтеза снизилась на 87 ед., а при обработке криопротекторам – на 21–44 ед. относительно растений, которые не подвергались заморозке.

Достигнутый эффект криопротекторов обусловлен комплексным составом препаратов. Содержащиеся в их составе хелатные формы микроэлементов снижают избыточное образование активных форм кислорода (АФК) и активируют ферментативную систему растений. Входящий в состав гликоль выполняет функцию антифриза, тем самым способствуя понижению точки замерзания свободной воды в клетке растений (рис. 1, 2).

Выявлено, что содержащиеся в криопротекторе аминокислоты и полисахариды в условиях заморозки способствуют вытеснению воды из клетки, не позволяя ей кристаллизироваться. Помимо этого, высокомолекулярные соединения выполняют в растительном организме энергетическую, защитную и строительную функции. Таким образом, комплексный состав изучаемых криопротекторов снижает негативное действие свободной воды и стабилизирует функциональность клетки растений при низкотемпературном стрессе.



Рис. 1. Растения ярового рапса после заморозки (-10°C 16 ч + 16 ч) – слева направо:
 1) контроль (вода), без заморозки; 2) контроль (вода), заморозка;
 3) криопротектор ЛП 8; 4) криопротектор ЛП 10

Figure 1. Spring rape plants after freezing (-10°C for two 16-hour cycles) – from left to right:
 1) control (water), no freezing; 2) control (water), freezing;
 3) cryoprotector LP 8; 4) cryoprotector LP 10



Рис. 2. Растильни с яровым рапсом, прошедшие заморозку, – слева направо:
 1) контроль (вода), без заморозки; 2) контроль (вода), заморозка;
 3) криопротектор ЛП 8; 4) криопротектор ЛП 10

Figure 2. Growing tanks with spring rape plants after freezing – from left to right:
 1) control (water), no freezing; 2) control (water), freezing;
 3) cryoprotector LP 8; 4) cryoprotector LP 10

Выводы Conclusions

По итогам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Низкотемпературный стресс растений (16 ч + 16 ч при -10°C) оказывает значительное влияние на морфометрические и физиолого-биохимические параметры ярового рапса.

2. Заблаговременная обработка криопротекторами растений рапса позволила существенно снизить отрицательное влияние низкотемпературного стресса на растительные клетки. Количество сахаров и выхода электролитов в клетках растений на опытных вариантах отмечалось на уровне растений рапса, которые не подвергались заморозке.

3. Использование криопротекторов способствовало увеличению содержания сухого вещества в опытных образцах растений по сравнению с контрольным вариантом растений, подвергшихся воздействию заморозки. Масса растений с обработкой была достоверно больше на 20,8–32,8%, а площадь листьев – больше на 12–13,8%, чем в варианте без обработки.

4. Проведенные исследования стоит продолжить в полевых условиях на различных сельскохозяйственных культурах и с различным уровнем агрофона.

Список источников

1. Вильф А. Патрушев оценил ущерб от заморозков, нанесенный посевам // *РИА Новости*. 2024. 31 мая. URL: <https://ria.ru/20240531/posevy-1949629663.html> (дата обращения: 30.03.2025)

2. Лезин М.С., Лезина В.А. Влияние возвратных заморозков в весенний период на плодоношение косточковых культур // *Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада*. 2023. № 148. С. 161–166. <https://doi.org/10.25684/0513-1634-2023-148-161-166>

3. Киселева Г.К., Якуба Ю.Ф., Ильина И.А. и др. Изучение устойчивости побегов винограда к низким температурам при обработке абсцизовой кислотой // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2025. № 1. С. 124–136. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-1-124-136>

4. Jahed K.R., Saini A.K., Sherif S.M. Coping with the cold: unveiling cryoprotectants, molecular signaling pathways, and strategies for cold stress resilience. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1246093. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1246093>

5. Черятова Ю.С. Современные направления селекции *Brassica napus* L.: обзор мировых тенденций // *Journal of Agriculture and Environment*. 2023. № 6 (34). URL: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.34.4> (дата обращения: 30.03.2025)

6. Cheryatova Yu., Monakhos S. Comparative carpological assessment of F1 hybrids of *Brassica napus* L. *E3S Web of Conferences*. 2024;539:02039. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453902039>

7. Третьяков Н.Н., Кошкин Е.И., Макрушин Н.М. и др. *Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений* / Под ред. проф. Н.Н. Третьякова. Москва: Колос, 2005. 656 с. EDN: VYKMTN

8. Satyaakam, Zinta G., Singh R.K., Kumar R. Cold adaptation strategies in plants – An emerging role of epigenetics and antifreeze proteins to engineer cold resilient plants. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13: 909007. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.909007>

9. Xu H., Hassan M.A., Sun D., Wu Z. et al. Effects of Low Temperature Stress on Source – Sink Organs in Wheat and Phosphorus Mitigation Strategies. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13: 807844. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.807844>

10. Венжик Ю.В., Дерябин А.Н., Попов В.Н., Дыкман Л.А. и др. Влияние наночастиц золота на устойчивость пшеницы к низкой температуре // *Доклады Российской академии наук*. 2022. Т. 502. С. 10–14. <https://doi.org/10.31857/S2686738922010218>

11. Лазько В.Э., Якимова О.В., Ковалева Е.В. Использование препаратов группы эписабсиннолида для защиты всходов бахчевых культур от низких температур // *Рисоводство*. 2022. № 3 (56). С. 88–94. <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2022-56-3-88-94>

12. Титов А.Ф., Фролова С.А., Таланова В.В., Венжик Ю.В. Влияние фитогормонов на активность протеолитических ферментов и ингибиторов трипсина при холодной адаптации пшеницы // *Труды Карельского научного центра РАН*. 2011. № 3. С. 117-120
13. Андросова А.В., Павловская Н.Е., Ожерельева З.Е. Влияние обработки препаратами Антифриз и Нигор на устойчивость земляники садовой к весенним заморозкам // *Вестник аграрной науки*. 2022. № 6 (99). С. 33–40. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.6.33>
14. Román-Figueroa C., Bravo L., Paneque M., Navia R., Cea M. Chemical products for crop protection against freezing stress: A review. *J. Agron. Crop Sci.* 2021;207:391-403. <https://tesble.com/10.1111/jac.12489>
15. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. *Методы биохимического исследования растений*: Учебник. Изд. 2-е, перераб. и доп. Ленинград: Колос, 1972. 456 с.
16. Новикова С.И., Бедарева О.М., Горшнина Г.В., Троян Т.Н. Оценка жизнеспособности и устойчивости озимых культур кондуктометрическим методом // *Известия КГТУ*. 2020. № 57. С. 54–66. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-57-54-66>
17. Еремин Д.И., Еремина Д.В., Любимова А.В. Относительное содержание воды и индекса стабильности клеточных мембран листьев как инструменты скрининга засухоустойчивости овса // *Таврический вестник аграрной науки*. 2023. № 3 (35). С. 74–88. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10135282>
18. Дерябин А.Н., Трунова Т.И. Коллигативные эффекты растворов низкомолекулярных сахаров и их роль у растений при гипотермии // *Известия РАН. Серия биологическая*. 2022. № 1. С. 26–36. <https://doi.org/10.31857/S1026347021060044>
19. Hryvusevich P., Samokhina V., Demidchik V.V. Stress-induced electrolyte leakage from root cells of higher plants: background, mechanism and physiological role. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2022;2:4-18. <https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-2-4-18>

References

1. Vilf A. Patrushev assessed frost damage to crops. *RIA Novosti*. (In Russ.) URL: <https://ria.ru/20240531/posevy-1949629663.html> (accessed: March 30, 2025)
2. Lezin M.S., Lezina V.A. The effect of recurrent frosts in spring on the fruiting of stone crops. *Byulleten Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. 2023;(148):161-166. (In Russ.) <https://doi.org/10.25684/0513-1634-2023-148-161-166>
3. Kiseleva G.K., Yakuba Yu.F., Petrov V.S., Ilyina I.A. et al. Study of resistance of grape shoots to low temperatures when treated with abscisic acid. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2025;(1):124-136. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2025-1-124-136>
4. Jahed K.R., Saini A.K., Sherif S.M. Coping with the cold: unveiling cryoprotectants, molecular signaling pathways, and strategies for cold stress resilience. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1246093. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1246093>
5. Cheryatova Yu.S. Modern trends of *Brassica napus* L. selection: a review of global tendencies. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023;(6(34)). (In Russ.) <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.34.4>
6. Cheryatova Yu., Monakhos S. Comparative Carpological Assessment of F1 Hybrids of *Brassica napus* L. *E3S Web of Conferences*. 2024;539:02039. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202453902039>

7. Tretyakov N.N., Koshkin E.I., Makrushin N.M., Loseva A.S. et al. *Physiology and biochemistry of agricultural plants*. Ed. by N.N. Tretyakova. Moscow, Russia: Kolos, 2005:656. (In Russ.)
8. Satyaakam, Zinta G., Singh R.K., Kumar R. Cold adaptation strategies in plants – An emerging role of epigenetics and antifreeze proteins to engineer cold resilient plants. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:909007. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.909007>
9. Xu H., Hassan M.A., Sun D., Wu Z. et al. Effects of Low Temperature Stress on Source – Sink Organs in Wheat and Phosphorus Mitigation Strategies. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:807844. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.807844>
10. Venzhik Yu.V., Deryabin A.N., Popov V.N., Dykman L.A. et al. Influence of gold nanoparticles on the tolerance of wheat to low temperature. *Doklady Rossijskoj akademii nauk. Nauki o zhizni*. 2022;502:10-14. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2686738922010218>
11. Lazko V.E., Yakimova O.V., Kovaleva E.V. The use of preparations of the epibrassinolide group for the protection of gurns shedouts from low temperatures. *Rice Growing*. 2022;(3(56)):88-94. (In Russ.) <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2022-56-3-88-94>
12. Titov A.F., Frolova S.A., Talanova V.V., Venzhik Yu.V. Effect of plant hormones on the activity of proteolytic enzymes and trypsin inhibitors during cold adaptation of wheat. *Transactions of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences*. 2011;(3):117-120. (In Russ.)
13. Androsova A.V., Pavlovskaya N.E., Ozherelieva Z.E. The influence of Antifreeze and Nigor preparations treatment on the strawberry resistance to spring frosts. *Bulletin of Agrarian Science*. 2022;(6(99)):33-40. (In Russ.) <https://doi.org/40.10.17238/issn2587-666X.2022.6.33>
14. Román-Figueroa C., Bravo L., Paneque M., Navia R. et al. Chemical products for crop protection against freezing stress: A review. *J. Agron. Crop Sci*. 2021;207:391-403. <https://tesble.com/10.1111/jac.12489>
15. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. *Methods of biochemical study of plants: a textbook*. 2nd ed., rev. and add. Leningrad, USSR: Kolos, 1972:456. (In Russ.)
16. Novikova S.I., Bedareva O.M., Gorshinina G.V., Troyan T.N. Assessment of viability and stability of winter crops by conductometric method. *KSTU News*. 2020;(57):54-66. (In Russ.) <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2020-57-54-66>
17. Eremin D.I., Eremina D.V., Lyubimova A.V. Relative water content and leaf cell membrane stability index as screening tools for drought tolerance in oats. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2023;(3(35)):74-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.10135282>
18. Deryabin A.N., Trunova T.I. Colligative effects of solutions of low-molecular sugars and their role in plants at hypothermia. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Biological Series*. 2022;(1):26-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S1026347021060044>
19. Hryvusevich P., Samokhina V., Demidchik V.V. Stress-induced electrolyte leakage from root cells of higher plants: background, mechanism and physiological role. *Experimental Biology and Biotechnology*. 2022;2:4-18. <https://doi.org/10.33581/2957-5060-2022-2-4-18>

Сведения об авторах

Вадим Александрович Крылов, канд. биол. наук, доцент кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский

государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»; руководитель группы питания и регуляции роста растений, Акционерное общество «Фирма «Август»; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: v.krylov@avgust.com

Александр Вячеславович Большов, канд. биол. наук, руководитель группы разработки препаратов для личного подсобного хозяйства, Акционерное общество «Фирма «Август»; 129515, Российская Федерация, г. Москва, ул. Цандера, 6; e-mail: a.bolshov@avgust.com

Татьяна Эдуардовна Ефрейторова, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник группы гербицидов, Акционерное общество «Фирма «Август»; 129515, Российская Федерация, г. Москва, ул. Цандера, 6; e-mail: t.efreytorova@avgust.com

Information about the authors

Vadim A. Krylov, CSc (Bio), Associate Professor at the Department of Agronomic, Biological Chemistry and Radiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Head of the Plant Nutrition and Growth Regulation Group, JSC Firma Avgust; 49 Timiryazevskaya St., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: v.krylov@avgust.com

Aleksandr V. Bolshov, CSc (Bio), Head of the Group for Development of Preparations for Private Farms, JSC Firma Avgust; 6 Tsandera St., Moscow, 129515, Russian Federation; e-mail: a.bolshov@avgust.com

Tatiana E. Efreytorova, CSc (Ag), Senior Research Associate at the Herbicide Group, JSC Firma Avgust; 6 Tsandera St., Moscow, 129515, Russian Federation; e-mail: t.efreytorova@avgust.com