

Жарких О.А., Трухачев В.И., Ефанова Е.М., Сушкова Л.О., Белопухов С.Л.

Влияние коротких пептидов на рост и развитие проростков ячменя

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

УДК 631.81.095.337

## Влияние коротких пептидов на рост и развитие проростков ячменя

*Жарких О.А., Трухачев В.И., Ефанова Е.М., Сушкова Л.О., Белопухов С.Л.*

*РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева*

### Аннотация

*Применение пептидных препаратов является одним из актуальных направлений в современном сельском хозяйстве. Данные препараты могут быть использованы на этапе проращивания семян, что представляет эффективную стратегию для повышения динамики роста и успешного развития растений. В статье представлены результаты лабораторных экспериментов, направленных на изучение влияния комплекса коротких пептидов АС-5 (аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота, аргинин), на всхожесть семян ярового ячменя (*Hordeum vulgare L.*) - сорт Владимир и интенсивность их прорастания. Максимальное значение энергии прорастания (95%, на контроле 71%) и всхожести семян (99%, на контроле – 82%) получены в вариантах с обработкой семян комплексом коротких пептидов в концентрации  $1 \cdot 10^{-12}$  и  $1 \cdot 10^{-13}$  г/л, минимальные – в вариантах с обработкой семян в концентрации  $1 \cdot 10^{-8}$  г/л. Для определения эффективной концентрации коротких пептидов, обуславливающих наибольшее рост-стимулирующее действие, были изучены морфометрические характеристики проростков ячменя (длина корней и ростков, выход сырой биомассы, сухая масса ростков и сухая масса корней). По совокупности максимальных значений, установлена оптимальная концентрация комплекса коротких пептидов для предпосевной обработки семян ярового ячменя сорт Владимир –  $1 \cdot 10^{-13}$  г/л.*

**Ключевые слова:** ЯРОВОЙ ЯЧМЕНЬ, КОМПЛЕКС КОРОТКИХ ПЕПТИДОВ, ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН, ЭНЕРГИЯ ПРОРАСТАНИЯ, ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ

### Введение

В условиях быстрого роста населения и изменения климата крайне важно обеспечить продовольственную безопасность за счет повышения урожайности стратегически важных сельскохозяйственных культур при высоких показателях качества продукции. В настоящее время всё ещё стоит вопрос получения высоких и стабильных

Жарких О.А., Трухачев В.И., Ефанова Е.М., Сушкова Л.О., Белопухов С.Л.

Влияние коротких пептидов на рост и развитие проростков ячменя

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

урожаев с хорошим качеством конечной продукции, выращивания растений с заданными агрономическими характеристиками, устойчивых к биотическим и абиотическим воздействиям. Для повышения урожайности сельскохозяйственных культур широко применяют различные приемы предпосевной активации семян [1-3].

Короткие пептиды участвуют в различных аспектах роста и развития растений, их низкий молекулярный вес и небольшие размеры представляют интерес оценить их использование в качестве регуляторов роста растений в сельскохозяйственном производстве. Биологические функции аминокислот в растениях включают реакцию на абиотический стресс, рост корней, морфогенез листьев и размножение растений, и проявляются при низких концентрациях. Также короткие пептиды можно использовать для усиления защиты растений, поскольку некоторые из них являются ингибиторами протеазы или противомикробными агентами, которые атакуют патогены и вредителей, таким образом, повышая устойчивость к вредителям, бактериям, грибам, вирусам [4, 5].

Яровой ячмень играет важную роль в сельском хозяйстве и продовольственной безопасности, является одной из основных зерновых культур и используется для производства пищевых продуктов, включая хлеб, крупы и пиво, применяется в кормовом производстве для скота и птицы. Яровой ячмень имеет высокую адаптацию к различным климатическим условиям, что делает его идеальным выбором для выращивания в различных регионах. Он может быть выращен на различных типах почв и имеет хорошую устойчивость к болезням и вредителям. Ячмень является отличным азотфиксатором, способным преобразовывать атмосферный азот в доступную форму для других растений, обладает хорошей способностью образовывать плотное покрытие почвы, что уменьшает эрозию и сохраняет ее плодородие [6, 7].

Использование ярового ячменя для различных целей позволяет разнообразить продукцию и удовлетворить потребности рынка. Его способность к адаптации к различным условиям и широкий спектр использования делают его ценным ресурсом для сельского хозяйства и пищевой промышленности [8]. Чтобы удовлетворить будущие потребности, мировое производство ячменя должно увеличиваться примерно на 2% в год. Но поскольку потенциал увеличения пахотных земель в мире ограничен, то увеличение производства ярового ячменя должно быть достигнуто за счет повышения урожайности на уже используемых землях [9]. Этого можно добиться, например, благодаря использованию пептидных комплексов. Предпосевная обработка семян комплексами

коротких пептидов может ускорить и активировать прорастание, увеличивая образование корней и побегов, тем самым повысить продуктивность растений [10].

Аминокислоты представляют собой хороший выбор для перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству, разработки и внедрения систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений. Данная тематика соответствует приоритетному направлению стратегии НТР РФ и позволяет применять пептидные комплексы в органическом сельском хозяйстве.

**Цель исследований** – изучить влияние комплекса коротких пептидов на всхожесть и скорость прорастания семян, рост корней и проростков ярового ячменя, а также установить его оптимальную концентрацию для предпосевной обработки семян.

#### **Методика**

Исследования и оценка влияния пептидного препарата на ранние стадии роста и развития проростков ячменя проводили в Лаборатории пептидных технологий на базе УНЦКП «Сервисная лаборатория комплексного анализа химических соединений» РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева.

В качестве объекта исследований использовали среднеспелый сорт ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) - Владимир. Семена произведены ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Немчиновка» совместно с ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ».

Pinealon Lingual - представляет собой комплекс коротких пептидов АС-5 (глутаминовая кислота, аспарагиновая кислота, аргинин), синтезированный из белков растительного происхождения. Этот препарат относится к группе цитогенов, которые также называются синтетическими пептидными биорегуляторами. Цитогены получают из естественных аминокислот путем синтеза, они представляют собой укороченную молекулу, являющуюся копией наиболее активной части пептида из всего комплекса, содержащегося в экстракте. Данный препарат разработан в Санкт-Петербургском институте биорегуляции и геронтологии.

Семена исследуемой культуры проращивали в чашках Петри диаметром 95 мм на фильтровальной бумаге в климатической камере для постоянных условий с программным

управлением (Binder KBW 720) при температуре 21°C, постоянная влажность 60%. В каждую чашку раскладывали по 20 семян, обработанных водопроводной водой (контрольный вариант) и растворами комплекса коротких аминокислот в концентрациях (г/л):  $1 \cdot 10^{-8}$ ,  $1 \cdot 10^{-9}$ ,  $1 \cdot 10^{-10}$ ,  $1 \cdot 10^{-11}$ ,  $1 \cdot 10^{-12}$ ,  $1 \cdot 10^{-13}$  и  $1 \cdot 10^{-15}$  (опытные варианты). Экспозиция обработки семян – 1 ч. Повторность опыта – 4-кратная. Семена смачивали водопроводной водой каждый день в течение 7 дней.

Определяли характеристики прорастания семян: энергию прорастания на 3-и сутки и всхожесть семян на 7-е сутки (ГОСТ 12038). В качестве всхожих семян считали те, которые имели нормально развитый корешок и росток. При этом главный корешок должен быть не короче самого семени, а росток – не короче половины семени. Кроме того, была измерена интенсивность прорастания семян по длине ростков и корешков. Выход сырой биомассы, сухую массу проростков и сухую массу корней соответственно измеряли на аналитических весах.

### Результаты и их обсуждение

Применение препаратов регуляторного действия перед посевом улучшает всхожесть семян, активизирует метаболические процессы и стимулирует активность необходимых для прорастания ферментов. Научные исследования демонстрируют, что определенные аминокислоты, такие как глицин, лейцин, пролин, глутаминовая кислота и другие, способствуют прорастанию семян и повышают их энергию прорастания [7, 11].

В наших исследованиях для предпосевной обработки семян использован трипептид АС-5, в состав которого входит аспарагиновая кислота, глутаминовая кислота и аргинин.

Глутаминовая кислота выступает эффективным комплексоном (хелатирующим агентом) и является одним из основных метаболитов растительных клеток, может использоваться в качестве источника энергии для прорастания семян. Она активирует ферменты, участвующие в метаболических процессах, способствует росту корней путем стимуляции ростовых факторов и клеточного деления, что важно для успешного прорастания семян. Кроме того, регулирует фотосинтез, фотопериодизм и метаболизм азота. Глутаминовая кислота улучшает фотосинтетический процесс и способствует более эффективной фиксации азота, что приводит к повышению качества прорастающих семян и ускорению их роста, а также стимулирует синтез антиоксидантов, полифенолов и

других веществ, которые помогают растениям справляться с вредителями и болезнями [4, 12].

Аспарагиновая кислота, как и глутаминовая кислота, является важным источником азота для растений, который необходим для синтеза белков и нуклеиновых кислот. Аминокислоты, производные от аспарагиновой кислоты, используются для строительства новых клеток и тканей растений. Кроме того, аспарагиновая кислота играет ключевую роль в обмене веществ растений, участвуя в регуляции обмена углеводов и ускоряя синтез фитогормонов (гиббереллинов), которые способствуют прорастанию семян. В результате аспарагиновая кислота помогает стимулировать процессы прорастания семян и способствует быстрому и здоровому росту растений [7, 13].

Аргинин является ключевым источником азота для растений. Он принимает участие в процессе фиксации и поглощения азота из почвы, а также в образовании аминокислот и белков. Также он участвует в синтезе некоторых фитогормонов, таких как цитокинины, которые стимулируют длину и ускоряют рост растений. Аргинин участвует в образовании полиаминов, которые играют важную роль в адаптации растений к стрессовым условиям, таким как засуха, низкие температуры или солевой стресс. Аргинин может быть превращен в другие соединения, такие как агматин и защитный алкалоид никотин, которые служат растениям в качестве защиты от вредителей и патогенных микроорганизмов [2, 3].

Энергия прорастания считается одним из важнейших показателей качества семян и отражает способность семян инициировать и поддерживать процесс прорастания. Она определяется скоростью и интенсивностью прорастания, а также силой роста первой ростковой точки. Высокая энергия прорастания свидетельствует о «здоровых» и жизнеспособных семенах, которые обладают достаточными питательными резервами и биологической активностью для успешного развития нового растения. Это позволяет семенам быстро давать проростки, динамично развиваться до взрослых растений. Оценка энергии прорастания обычно производится путем определения времени, необходимого для появления первых ростков или для достижения определенной стадии развития растения. Более быстрое и равномерное прорастание является показателем высокой энергии прорастания [1, 14].

Рис. 1 демонстрирует, что применение комплекса коротких пептидов АС-5 оказало положительное влияние на энергию прорастания и всхожесть семян при всех испытанных

концентрациях. Энергия прорастания семян ярового ячменя сорта Владимир была выше при использовании комплекса аминокислот во всех вариантах опыта, за исключением обработки семян концентрациями  $10^{-8}$  и  $10^{-9}$  г/л. Энергия прорастания имеет значение на уровне контроля - 71%. Стоит отметить, что значения этого показателя значительно менялись в зависимости от концентрации препарата. Наиболее высокая энергия прорастания наблюдается при обработке семян комплексом коротких пептидов с концентрациями  $10^{-12}$  и  $10^{-13}$  г/л. Этот показатель составил 95 %, что на 33,8 % больше относительно контроля.

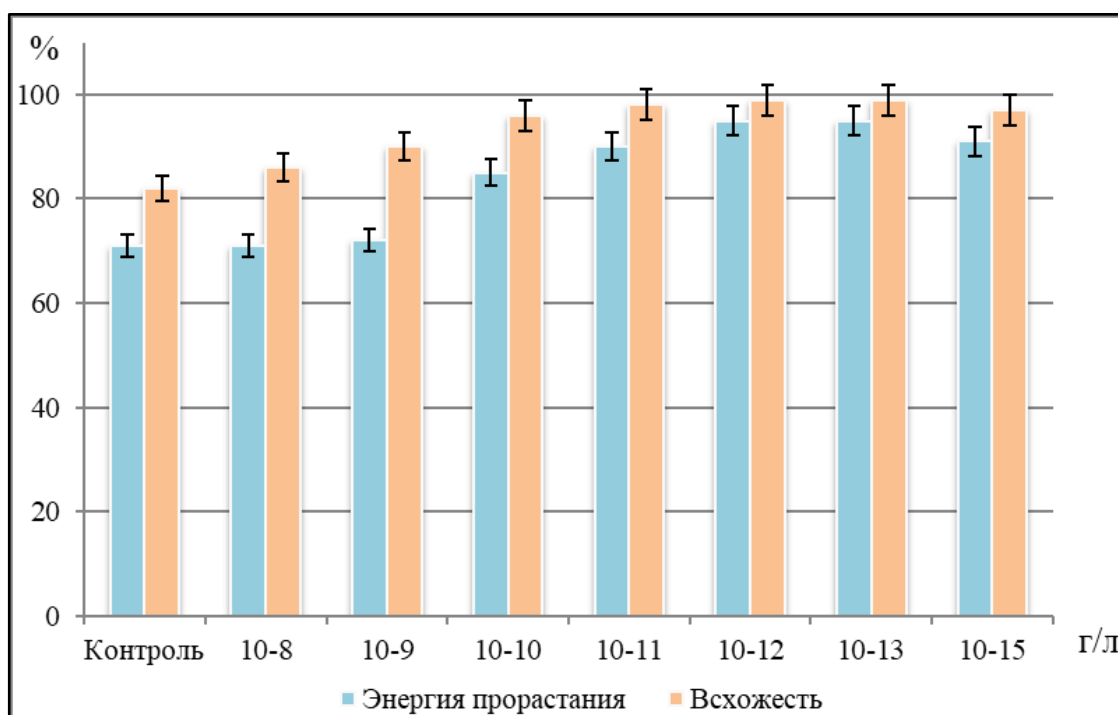


Рис. 1. Влияние различных концентраций комплекса коротких пептидов на прорастание семян ярового ячменя

Лабораторная всхожесть также считается одним из важнейших показателей, по которому принято судить о качестве семенного материала. Чем меньше разница между величиной энергии прорастания и всхожестью, тем выше качество семян. Пониженная всхожесть семян свидетельствует о том, что разрыв между лабораторной и полевой всхожестью будет значительный, а это может привести к снижению урожайности.

Установлено, что самый высокий процент всхожести при обработке семян комплексом коротких пептидов АС-5 также наблюдался в вариантах с обработками семян

Жарких О.А., Трухачев В.И., Ефанова Е.М., Сушкова Л.О., Белопухов С.Л.

Влияние коротких пептидов на рост и развитие проростков ячменя

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

концентрацией  $10^{-12}$  и  $10^{-13}$  г/л и составил 99%, что на 20,7 % больше относительно контроля (82%). Обработка семян в самой высокой концентрации ( $10^{-8}$  г/л) не показала значимую разницу по сравнению с вариантом без обработки, всхожесть составила 86 %. Всхожесть семян при применении комплекса коротких пептидов в более высоких концентрациях ( $10^{-9}$  и  $10^{-10}$  г/л) в среднем на 9,8 и 17 % больше соответственно относительно контроля. Обработка семян в более низких концентрациях ( $10^{-11}$  и  $10^{-15}$  г/л) увеличила всхожесть относительно контрольного варианта на 19,5 и 18,3 % соответственно, однако, не показала значимую разницу по сравнению с вариантами обработки в концентрациях  $10^{-12}$  и  $10^{-13}$  г/л.

Применение комплекса коротких пептидов усилила интенсивность прорастания семян, оказав положительное влияние на морфометрические показатели проростков ярового ячменя сорт Владимир по всем вариантам опыта (рис. 2).

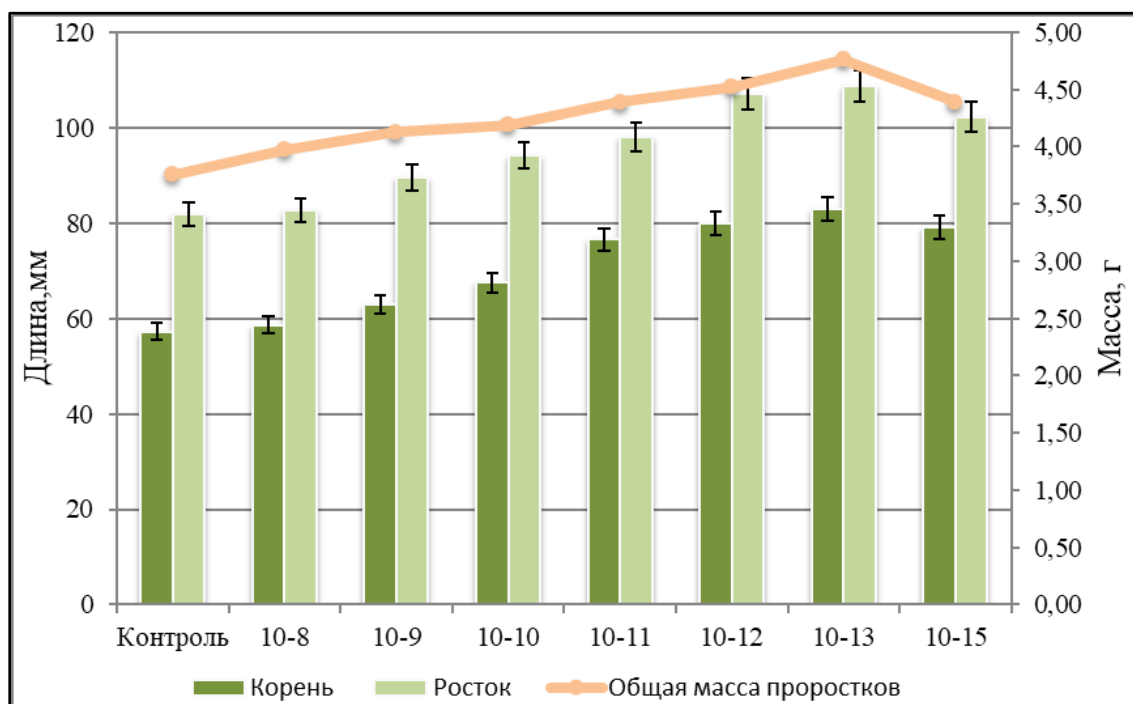


Рис. 2. Влияние различных концентраций короткого пептидного комплекса на морфометрические параметры проростков ячменя

Одним из основных действий аминокислот является стимуляция деления и растяжения клеток, что способствует увеличению размеров и объема растительных органов. Это влияние особенно заметно проявилось при анализе длины ростков ячменя. Короткие пептиды также способствуют усилению роста корней, площади их поверхности,

что способствует увеличению объема поглощенной воды и питательных веществ. В результате у растения формируется более длинная и разветвленная корневая система, что способствует улучшению поглощения питательных веществ из почвы.

Так, анализ данных рис. 2 показывает, что применение комплекса коротких пептидов в различных концентрациях способствует повышению морфометрических показателей по сравнению с вариантом без обработки. К концу эксперимента наилучший эффект наблюдался у проростков, семена которых были обработаны препаратом в концентрациях  $10^{-12}$  и  $10^{-13}$  г/л. Однако не было достоверной разницы при использовании этих концентраций. Так средняя длина ростков и корней проростков ячменя в варианте с  $10^{-13}$  г/л составила 108,7 и 82,9 мм соответственно. В варианте без обработки – 81,9 и 57,3 мм соответственно. Прибавка существенная и составляет 32,8 и 44,6 % соответственно.

Применение комплекса аминокислот существенно влияет не только на морфометрические показатели, но и на биомассу проростков ячменя. Наибольшая масса проростков также наблюдалась при обработке семян концентрацией  $10^{-13}$  г/л и составила 4,76 г, что на 21 % больше относительно контрольного варианта - 3,75 г. Так прибавка сырой массы ростков ячменя в варианте с концентрацией  $10^{-13}$  г/л составила 32,8 %, сырой массы корней – 44,6 % относительно контроля (рис. 3).

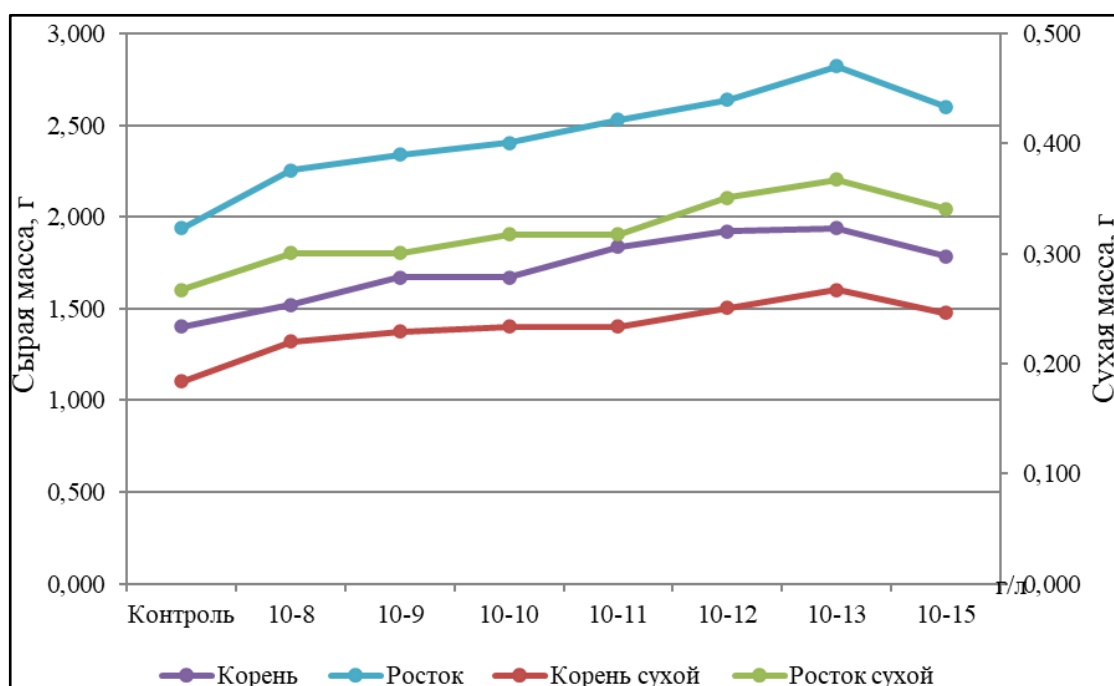


Рис.3. Влияние различных концентраций комплекса коротких пептидов на сухую массу ростков и корней ячменя



Рис. 3 демонстрирует, что применение комплекса коротких пептидов АС-5 оказало положительное влияние на рост биомассы, сухую массу ростков и корней ячменя при всех испытанных концентрациях. В варианте с обработкой семян концентрацией  $10^{-13}$  г/л также наблюдались максимальные значения сухой массы ростков - 0,367 г, сухой массы корней - 0,267 г, по сравнению с контрольным вариантом 0,267 и 0,184 г соответственно.

### **Выводы**

Впервые на ячмене проведена обработка семян комплексом пептидов. Результаты лабораторных исследований показывают, что различные концентрации препарата Pinealon Lingual, который представляет собой комплекс коротких пептидов АС-5, оказывает различное влияние на прорастание семян ярового ячменя сорт Владимир. Установлено, что наибольшие концентрации комплекса коротких пептидов не показали существенных отличий по сравнению с контрольным вариантом, тогда как более низкие и средние концентрации способствовали увеличению показателей лабораторной всхожести семян и динамики изменения морфометрических показателей проростков. Наиболее высокие результаты были отмечены при применении препарата Pinealon Lingual в концентрации  $1 \cdot 10^{-13}$  г/л. Эти данные будут использоваться в дальнейшем для проведения полевого и производственного опытов.

Проведенное исследование подтверждает, что короткие пептиды способны действовать как важнейшие стимуляторы роста и развития растений. Необходимо расширить перечень видов и сортов растений сельскохозяйственных культур, чтобы можно было сделать выводы о возможном применении комплекса коротких пептидов в АПК.

### **Благодарности:**

*Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».*

## Список использованных источников:

1. Вознесенская Т.Ю., Шаповал О.А. Влияние обработки семян комплексом аминокислот с микроэлементами на всхожесть, энергию и интенсивность прорастания // Плодородие. – 2020. – 5 (116). – С. 33–36.
2. Петухов Д.В., Измestьев Е.С., Сазанов А.В., Зайцев М.А., Товстик Е.В. Применение аминокислот и их хелатных комплексов с микроэлементами в питании растений (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – №1. – С. 167–174.
3. Sowmya R.S., Vishal G. Warke, Girish B. Mahajan, Uday S. Annapure. Effect of amino acids on growth, elemental content, functional groups, and essential oils composition on hydroponically cultivated coriander under different conditions // Industrial crops and products. 2023; 197: 116577. - DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116577>.
4. Петров Н.Ю., Юдаев И.В., Кувшинова Е.К., Родионова С.А. Биологическая активность и влияние Гумавита на прорастание семян // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. - 2020. - № 2 (58). - С. 83–94.
5. Popko M, Michalak I, Wilk R, Gramza M, Chojnacka K, Górecki H. Effect of the new plant growth biostimulants based on amino acids on yield and grain quality of winter wheat. // Molecules. 2018; 23(2):470. - DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23020470>.
6. Родионов С.Н., Родионова С.А. Влияние удобрения Гумавит на энергию прорастания, всхожесть, биометрические показатели ярового ячменя сортов Вакула и Грис // Аграрная Россия. - 2022. - № 12. – С. 9–11. - DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2022-12-9-11>.
7. Трухачев В.И., Белопухов С.Л., Исламгулова Р.Р., Серегина И.И., Новиков Н.Н., Дмитриевская И.И. Пивоваренные показатели качества ячменя сорта надежный в зависимости от условий питания // Агрофизика. -2021. - № 4. - С. 28–33.
8. Серегина И.И., Джанчаров Т.М., Белопухов С.Л., Дмитриевская И.И., Зайцев Ф.И., Исламгулова Р.Р. Урожайность и химический состав сортов ячменя в зависимости от уровня минерального питания // Агробиохимический вестник. - 2023. - № 2. - С. 60–63.
9. Islamgulova R.R., Seregina I.I., Novikov N., Trukhachev V.I., Belopukhov S.L., Yusupova G.G., Dmitrevskaya I.I., Fomina T.N. Peroxidase activity in germinating barley grains depending on grain treatment with phyto regulators // В сборнике: E3S web of conferences. - 2023. -С. 04029. - DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202339004029>.
10. Асеева Т.А., Хавинсон В.Х., Миронова Е.С., Рыжак Г.А., Селезнева Н.А., Федорова Т.Н. Влияние коротких пептидов на рост и урожайность сои // Юг России: экология, развитие. – 2022– Т.17.–№ 2 (63). – С. 122–129.
11. Филиппова Г.Г., Варакса Т.С., Соколов Ю.А., Юрин В.М. Действие пептидного элиситора GmPer890 на физиолого-биохимические показатели проростков сои растений в технологии выращивания яровой пшеницы на дерново-подзолистой почве // Труды

Жарких О.А., Трухачев В.И., Ефанова Е.М., Сушкова Л.О., Белопухов С.Л.

Влияние коротких пептидов на рост и развитие проростков ячменя

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. – 2015. – Т. 10.– № 1. – С. 75–81.

12. Božilović B., Nikolić B., Waisi H., Trifković J., Dodevski V., Janković B., Krstić S., Mojović M. Influence of 24-epibrassinolide on the energetic parameters and early stages of growth and development in seedlings of two maize (*Zea mays* L.) genotypes // *Agronomy*. 2023; 13: 1673. - DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13071673>.

13. Omrani A., Omrani S., Khodarahmi M., Shojaei S.H., Illés Á., Bojtor C., Mousavi S.M.N., Nagy J. Evaluation of grain yield stability in some selected wheat genotypes using ammi and GGE biplot methods // *Agronomy*. - 2022. - № 12 (5). - С. 1130. - DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12051130>.

14. Агробиотехнологии XXI века / И.И. Серегина, С.П. Торшин, Н.Н. Новиков [и др.]. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Мегаполис", 2022. – 516 с. – ISBN 978-5-6049409-3-8. – EDN TJGOBN

#### Цитирование:

Жарких О.А., Трухачев В.И., Ефанова Е.М., Сушкова Л.О., Белопухов С.Л. Влияние коротких пептидов на рост и развитие проростков ячменя [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 6. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/6/st\\_603.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/6/st_603.pdf). DOI: <https://doi.org/10.51419/202136603>.