

## Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-31-37>  
УДК: 635.25:631.531.027.2

**А.В. Янченко, А.Ф. Бухаров,  
А.Ю. Федосов, М.И. Иванова\*,  
А.М. Меньших, С.В. Белова**

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, Россия, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500

\*Автор для переписки: [ivanova\\_170@mail.ru](mailto:ivanova_170@mail.ru)

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов:** Янченко А.В.: научное руководство исследованием, ресурсы; Бухаров А.Ф.: концептуализация, методология, администрирование проекта; Федосов А.Ю., Иванова М.И., Меньших А.М.: методология, визуализация, литературный поиск, проведение исследований, анализ полученных данных, создание рукописи; Белова С.В.: литературный поиск, редактирование рукописи.

**Для цитирования:** Янченко А.В., Бухаров А.Ф., Федосов А.Ю., Иванова М.И., Меньших А.М., Белова С.В. Современное состояние и открытые вопросы праймирования семян лука репчатого. *Овощи России*. 2024;(5):31-37. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-31-37>

**Поступила в редакцию:** 29.05.2024

**Принята к печати:** 03.07.2024

**Опубликована:** 27.09.2024

**Alexey V. Yanchenko, Alexander F. Bukharov,  
Alexander Yu. Fedosov, Maria I. Ivanova\*,  
Aleksandr M. Menshikh, Sofya V. Belova**

All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" 500, Vereya, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia

**Correspondence Author:** [ivanova\\_170@mail.ru](mailto:ivanova_170@mail.ru)

**Conflict of interest.** The authors declare that there are no conflicts of interest.

**Authors' Contribution:** Yanchenko A.V.: scientific supervision of the study, resources; Bukharov A.F.: conceptualization, methodology, project administration; Fedosov A.Yu., Ivanova M.I., Menshikh A.M.: methodology, visualization, literature search, conducting the study, analysis of the obtained data, writing the manuscript; Belova S.V.: literature search, editing the manuscript.

**For citation:** Yanchenko A.V., Bukharov A.F., Fedosov A.Yu., Ivanova M.I., Menshikh A.M., Belova S.V. Current state and open issues of priming onion seeds. *Vegetable crops of Russia*. 2024;(5):31-37. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2024-5-31-37>

**Received:** 29.05.2024

**Accepted for publication:** 03.07.2024

**Published:** 27.09.2024

# Современное состояние и открытые вопросы праймирования семян лука репчатого

Check for updates



## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** В контексте изменения климата при выращивании лука репчатого необходимы инновационные решения, которые послужат основой для поддержки селекционеров и семеноводов и фермеров, в частности, касающиеся с важнейшего вопроса качества семян. Одним из методов, способствующим улучшению жизнеспособности семян, является праймирование, что приводит к быстрому и равномерному прорастанию и появлению всходов лука репчатого.

**Результаты.** Праймирование семян лука репчатого может улучшить жизнеспособность, особенно в неблагоприятных условиях, таких как низкие/высокие температуры, недостаточное количество влаги, засоление. Это простое, недорогое и низкорисковое вмешательство, которое может стать полезной технологией для производителей лука репчатого и оказать положительное влияние за счет увеличения сроков прорастания семян, увеличения темпов развития растений, сокращения продолжительности уборки урожая и повышения урожайности. Данный метод распространен для семян редиса, томата, моркови и капусты и менее популярен для лука репчатого. В представленном обзоре приводится информация современных научно-технических достижений, которые на сегодняшний день способствовали повышению всхожести семян и увеличению силы роста растений лука репчатого. Для крупномасштабного коммерческого использования оптимальные методы и условия праймирования, адаптированные для различных сортов или партий семян, потребуют дальнейшей обширной экспериментальной деятельности. Не следует отрицать, что технология праймирования семян отличается простотой в эксплуатации, низкой стоимостью и высокой практической ценностью в промышленном и рыночном контексте. Можно предвидеть, что данная технология в будущем будет иметь более широкие перспективы в сельскохозяйственном производстве и экологическом строительстве. Кроме того, праймирование семян может эффективно восстанавливать или повышать их жизнеспособность, обеспечивать успешное сохранение ресурсов зародышевой плазмы и последующее развитие, особенно для семян лука репчатого, которые быстро теряют всхожесть.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

лук репчатый; прорастание семян; праймирование семян; признаки качества семян

# Current state and open issues of priming onion seeds

## ABSTRACT

**Relevance.** In the context of climate change, onion cultivation has become a challenge and innovative solutions are needed to support breeders and seed producers as well as farmers, starting with critical issues of seed quality. Seed priming successfully improves seed viability, which leads to rapid and uniform germination and emergence of onion seedlings.

**Results.** Priming onion seeds can improve viability, especially under unfavorable conditions such as low/high temperatures, reduced water availability and salinity. It is a simple, low-cost and low-risk intervention that can be a useful technology for farmers and have a positive impact on their livelihoods by increasing the rate of seed germination, increasing the rate of plant development, reducing harvest time and increasing yields. Although this method is common for radish, tomato, carrot and cabbage seeds, this method is less popular for onions. This review provides an up-to-date picture of the scientific and technological advances that have contributed to increasing seed germination and vigor in onion plants to date. For large-scale commercial use, optimal priming methods and conditions tailored to different varieties or seed lots will require further extensive experimental work. It cannot be denied that seed priming technology is characterized by ease of operation, low cost and high practical value in industrial and market contexts. It can be foreseen that this technology will have wider prospects in agricultural production and green building. In addition, seed priming can effectively restore or enhance seed viability and ensure successful retention of germplasm resources and subsequent development, especially for onion seeds that rapidly lose viability.

## KEYWORDS:

onions; seed germination; seed priming; signs of seed quality

### Введение

**В** настоящее время лук репчатый выращивают более чем в 140 странах. Крупнейшими мировыми производителями лука являются Китай, Индия, США и Турция. Высокая урожайность лука отмечена в таких странах, как Республика Корея (73,2 т/га) и Гайана (77,8 т/га) [1]. Современный (экономически оправданный) уровень урожайности лука достигает 46,4–51,7 т/га [2]. В России средняя урожайность лука репчатого находится на уровне 22,6 т/га, однако в передовых хозяйствах в однолетней культуре достигает до 100 т/га [2].

Выбор сортов лука из огромного разнообразия зависит от географического местоположения и агроклиматических условий климата, плодородия почвы, а также потребительских и рыночных предпочтений [4,5].

В коммерческих целях лук репчатый из семян выращивают в однолетней культуре. Семена лука покрыты тонкой оболочкой (теста), не имеют периода покоя и быстро (в течение 2–3 лет теряют всхожесть) [6]. Существует большой рыночный спрос на семена лука, обеспечивающие быстрое появление устойчивых всходов. Всхожесть таких семян лука должна быть выше 70 % [7]. К сожалению, семена лука характеризуются ограниченной продолжительностью хранения, что приводит к быстрой потере жизнеспособности [8].

Как отмечают исследователи [9] использование семян низкого качества приводят к изреженным и неравномерным всходам. В стрессовых условиях при ранневесеннем посеве такие семена дают большое число аномальных проростков. Качество семян лука зависит от условий окружающей среды во время роста семенных растений, расположения семян на материнском растении, методов и своевременности уборки урожая, условий хранения и предпосевной подготовки. Жизнеспособность и энергия при хранении сильно различаются в зависимости от сорта и даже партии семян [10, 11].

В подготовленной обзорной статье дается краткое описание различных подходов к праймированию, при этом внимание сосредоточено на следующем: (а) влияние праймирования семян на улучшенную всхожесть, развитие проростков и устойчивость к стрессам окружающей среды; (б) концепция признаков качества семян, перенесенная с модельных растений на лук репчатый; (с) недостатки, которые в настоящее время препятствуют полному использованию праймирования семян в конкретном секторе продовольственной цепочки лука репчатого.

### Основные принципы и техника праймирования

Праймирование рассматривается как многообещающий прием поддержания жизнеспособности семян и быстрого получения всходов, в частности, лука. Праймирование, как способ предпосевной обработки семян, было впервые предложено W. Heydecker [12]. Понятие «праймирование семян» было введено в 1977 г. на Симпозиуме по проблемам семян в садоводстве (Sutton Bonington, Великобритания) и опубликовано в виде доклада на конференции [13]. W. Heydecker и его коллеги успешно применили для праймирования семян лука и моркови осмотический агент полиэтиленгликоль (ПЭГ), чтобы ускорить прорастание и повысить однородность всходов [13].

В 1977 году Международная ассоциация по тестированию семян (ISTA) определила «жизнеспособность семян» как комбинированное выражение тех свойств семян, которые определяют уровень активности и поведение семян или партий семян во время прорастания и появления всходов. В последующие годы тщательно изучены методы повышения жизнеспособности семян, и международное сообщество биологов семян постепенно приняло концепцию «праймирования семян». Методы праймирования семян постоянно совершенствовались и коммерциализировались как эффективный метод повышения силы роста семян [14–17].

Процесс праймирования семян требует контролируемого насыщения сухих семян водой так, чтобы обеспечить возобновление метаболической активности («предпрорастающий метаболизм»), перевести семена на продвинутую физиологическую стадию и усилить некоторые ключевые молекулярные процессы, а именно антиоксидантную реакцию и репарацию ДНК. Последнее способствует сохранению целостности генома, необходимого для успешного прорастания [18].

Контролируемое насыщение семян водой (в том числе с добавлением различных праймировочных агентов), прекращают до того, как произойдет проклевывание семян (протрузия корешка), иначе семена потеряют способность устойчивого прорастания после высыхания. Подготовленные таким образом праймированные семена получают возможность пережить последующее обезвоживание или «высушивание», что приведет их к стандартной влажности для посева в поле или хранения [19].

Как отмечают Бухаров и др. [20], методы праймирования семян включают различные виды комплексной обработки, в том числе: гидропраймирование, осмопраймирование, праймирование твердой матрицей, биопраймирование, нутрипраймирование, гормональное праймирование, нанопраймирование, физическое праймирование, гибридное праймирование и другие приемы.

*Гидропраймирование.* Семена замачивают непосредственно в воде, и набухание происходит в строго контролируемых условиях (время, температура и подача кислорода). Этот экономичный и экологически безопасный подход к праймированию имеет некоторые ограничения, связанные с обрабатываемыми видами, сортами и партиями семян, поскольку каждый генотип обладает своей спецификой, которую следует оценивать, тщательно выявляя критический порог воздействия [21, 22].

*Осмопраймирование.* Семена погружают в раствор с низким водным потенциалом. Осмотическое давление воды регулируют путем изменения концентрации (водный потенциал) осмотического раствора, тем самым контролируя количество воды, поглощаемой семенами. Обычно используемые растворы включают осмотические агенты, такие как полиэтиленгликоль (PEG), полипропионат натрия (SPP), поливиниловый спирт (PVA) и соли (например,  $KNO_3$ ,  $NaCl$ ) [23].

*Твердое матричное праймирование.* Семена смешивают с твердым субстратом и водой в определенном соотношении, чтобы имитировать почвенные

условия. Семена поглощают воду опосредованно через субстрат, который обеспечивает необходимый баланс влажности и скорость насыщения влагой. Наиболее часто используемыми субстратами являются вермикулит, песок, перлит, сланец и синтетический карбонат кальция. После завершения праймирования твердый матричный материал необходимо отделить, соблюдая осторожность, чтобы не повредить семена [24].

**Биопраймирование.** Полезные микроорганизмы добавляют в качестве средств защиты семян во время их гидратации. Их можно инкапсулировать на семена с помощью пленкообразователей или добавлять непосредственно в субстрат. Этот подход в большинстве случаев основан на использовании микроорганизмов, принадлежащих к родам *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus* и *Trichoderma* [25].

**Нутрипраймирование.** Метод предпосевной обработки семян, который включает замачивание семян в питательном растворе для улучшения их качества и увеличения содержания питательных веществ. Микронутриенты играют решающую роль в дыхании и фотосинтезе, которые необходимы для роста и развития растений. Любое нарушение этих процессов может привести к снижению роста и урожайности. Чтобы решить эту проблему, микроэлементы можно вносить непосредственно в семена посредством питательного праймирования [21].

**Гормональное праймирование.** В качестве праймирующих агентов используют фитогормоны, в том числе гиббереллины, абсцизовая кислота, цитокинины, салициловая кислота и жасмоновая кислота. Гормональное праймирование оказывает благотворное влияние, поскольку способствует выходу семян из состояния покоя и повышает устойчивость проростков к стрессу [26].

**Нанопраймирование.** Этот недавно разработанный метод основан на использовании наночастиц (NP) в качестве праймировочных агентов. До сих пор для обработки семян использовали широкий спектр NP, включая FeNP, AgNP, SiO<sub>2</sub>NP, CuONP и ZnONP. Также доступны наночастицы на растительной основе в результате устойчивых процессов, которые производят безопасные наноматериалы для сельскохозяйственных применений [27-29].

**Физическое праймирование.** Семена обрабатывают физическими методами, такими как магнитные поля, ультразвуковые волны, ультрафиолетовые лучи, рентгеновские лучи, гамма-лучи и микроволны. Их основные преимущества заключаются в том, что это недорого, простые в управлении методы, они не выделяют загрязняющих веществ [30].

**Особенности технологии праймирования семян лука репчатого.** Для семян лука репчатого предложены различные протоколы праймирования. Ниже приведен краткий обзор результатов тестирования на луке репчатом наиболее эффективных методов.

При замачивании семян сорта лука репчатого Одинцовец 0,4%-ным раствором гидроперита и перекиси водорода урожайность повысилась на 4,5–4,9 т/га за счет увеличения полевой всхожести на 6–10% и ускорения прохождения отдельных фаз на 5–7 суток. Содержание сухого вещества в луковицах составило

13,0–13,3%, витамина С – 10,2–10,9 мг, сахара – 8,1–8,3%, нитратов – 22,8–23,1 мг/кг сырой массы [31].

R. H. Ellis и P. D. Butcher [32] протестировали осмопраймирование на различных партиях семян сортов White Lisbon и Senshy Semi Globe Yellow, впервые предоставив доказательства того, что генетические факторы и факторы окружающей среды способствуют реакции семян на обработку. Осмопраймирование сократило время для прорастания как при субоптимальных, так и при сверхоптимальных температурах для тестируемых сортов, однако наблюдаемый эффект зависел от партии семян.

Семена сортов Bronze Wonder, Challenger, Big Mac и White Keeper успешно осмопраймированы, что привело к улучшению всходов. На реакцию осмопраймированных семян в полевых экспериментах влияло повышение температуры почвы, что подчеркивает проблемы, связанные с высокой изменчивостью, зависящей от генотипа и партии семян [33].

Масштабное осмопраймирование семян достигнуто за счет оксигенации. Обработка в присутствии воздуха, обогащенного кислородом (до 75% O<sub>2</sub>), приводила к увеличению процента всхожести [34]. Клеточное дыхание и энергетический обмен запускаются при впитывании и поддерживаются переносом кислорода через семенную оболочку. Поскольку снабжение кислородом может быть снижено в присутствии воды или осмотических агентов, что ставит под угрозу метаболическую активность, воздействие обогащенного кислородом воздуха используется для ускорения этих ключевых процессов и улучшения качества семян [35].

Обработка семян растворами трегалозы или раффинозы ускоряла скорость и однородность прорастания, в том числе в условиях абиотического стресса, например, засоления (100 mM NaCl), осмотического стресса (10% ПЭГ) и низкой температуры (15°C). Всхожесть праймированных семян увеличилась до 30–50%, тогда как необработанные семена показали низкую всхожесть (2%) [36].

Нутрипраймирование 0,5% ZnSO<sub>4</sub> и гормональное праймирование 0,2% метионином, применяемое к семенам лука, способствовали устойчивости к солевому стрессу, о чем свидетельствует увеличение процента всхожести, продукции сухого вещества и индекса силы роста. Семена, подвергнутые нутрипраймированию, показали усиленное деление клеток и скорость удлинения в корневой меристеме, что было выявлено с помощью сканирующей электронной микроскопии, и они были способны выдерживать условия низкой влажности (водоудерживающая способность 20%) и солевого стресса (до 0,75 % NaCl) [37].

Дополнительная ценность цинка в качестве праймировочного агента зависела от его роли в качестве незаменимого микроэлемента в контроле нескольких физиологических, биохимических и молекулярных процессов, среди которых прорастание, с положительным влиянием на рост растений, урожайность и качество питания [38].

Диаметр и масса луковиц, влияющих на урожайность, значительно улучшены за счет гормонального праймирования 100 ppm GA<sub>3</sub> и галопраймирования 3% KNO<sub>3</sub> у сорта Agrifound Dark Red [39].

Гиббереллиновая кислота ( $GA_3$ ) способствует выходу семян из состояния покоя, прорастанию, росту клеток и растений также в условиях засоления и засухи, вызывая антиоксидантную защиту и накопление пролина [40].

R. Caseiro и коллеги [41] сравнили влияние осмопраймирования аэрированным раствором полиэтиленгликоля (ПЭГ) 8000 (-0,5 МПа, -0,1 МПа), гидропраймирования и барабанного праймирования на скорость и процент прорастания в шести партиях семян разного качества. Хотя гидропраймирование и осмопраймирование давали наилучший ответ, наиболее рентабельным методом было барабанное праймирование.

Гормональное праймирование салициловой кислотой в концентрации 50 мкМ способно увеличить всхожесть и показатели роста сорта IPA 11 в условиях водного и солевого стресса. Проростки, полученные из праймированных семян, показали повышенную способность к осмотической адаптации в условиях сильного водного стресса, индуцированного ПЭГ (-0,2 МПа), и индуцированного NaCl стресса (-0,4 МПа) за счет увеличения содержания пролина и растворимых сахаров [42].

Осмопраймирование ПЭГ способно смягчить последствия старения хранящихся семян лука, в то время как обработка, проведенная после старения, не улучшила жизнеспособность семян [43]. Вредные эффекты старения были ослаблены в семенах сорта Punjab Red-48, подвергнутых осмопраймированию 25% ПЭГ. В обработанных семенах наблюдали повышенный уровень антиоксидантов, например, токоферолов и аскорбиновой кислоты, а также антиоксидантной активности каталазы и пероксидазы [44].

Влияние различных обработок праймирования семян (гидропраймирование плюс сухое покрытие тиамом 2 г/кг; гормональное праймирование 50 ppm  $GA_3$ ; осмопраймирование 0,5%  $KNO_3$  и 0,5%  $KH_2PO_4$  соответственно; биопраймирование азотобактером) оценивали на семенах естественного старения (сорта Hisar-2, Hisar Onion-3 и Hisar Onion-4).  $GA_3$  является лучшим агентом праймирования для улучшения качества семян тестируемых сортов, за которой следуют биопраймирование, гидропраймирование и дражирование. Доказано, что гормональное праймирование и биопраймирование повышают жизнеспособность семян при годовом хранении [45].

Всхожесть семян с длительным сроком хранения сорта Arka Kalyan улучшалась при осмопраймировании ПЭГ (-1,5 МПа), тогда как свежие семена были более чувствительны к опосредованному  $GA_3$  гормональному праймированию. Отмечены различные эффекты тестируемых праймеров, наблюдаемые в свежих и выдержанных семенах лука, соответственно, и необходимость расширения диапазона протоколов для ускорения поиска наиболее экономически эффективных решений [46].

Лук репчатый стал объектом недавно разработанной зеленой нанотехнологии для условий точного земледелия. Наночастицы серебра и золота (AgNP, AuNP) доставляли к состарившимся семенам лука. Инструментальный нейтронно-активационный анализ и газовая хроматография-масс-спектрометрия показали, что наночастицы были интернализированы (проникали в

клетки), что привело к повышению всхожести как в тепличных, так и в полевых условиях и связано с повышенной пероксидазной активностью [47].

Предпосевная обработка семян лука репчатого сорта Стригуновский местный препаратами Пробиотик (1:100) и Экоорганика (0,1%), с содержанием AgNP (30 ppm) способствовала выходу севка с диаметром 15,1–22 мм от 71,5 % до 84,0%. Использование препаратов для предпосевной обработки семян лука репчатого способствовало получению оздоровленного посадочного материала [48].

Известно об эффективном использовании магнитного поля в качестве простого, недорогого и неинвазивного физического метода стимуляции прорастания сельскохозяйственных культур [30]. Описано влияние статического магнитного поля на прорастание семян гибрида Yellow Granex PRR и рост проростков. При воздействии на семена статических магнитных полей 10 и 21 мТл (миллиТесла) в течение увеличивающегося времени (0,5, 3, 6, 12 и 24 ч) существенных различий в прорастании, сухой или сырой массе не наблюдалось. Есть данные об увеличении длины проростков, полученных из магнитопраймированных семян [49]. Коммерческие партии семян сортов Octavia и Eureka, подвергнутые низкочастотному магнитному полю (LFMF), показали улучшенную всхожесть. Праймированные семена подвергали воздействию LFMF (20 мТл) в течение 10, 30 и 60 минут, тестировали на прорастание, а полученные луковицы анализировали на длину корня, максимальный диаметр, содержание сухого вещества и кверцетина [50]. Предпосевная обработка семян лука-батуна комбинированным постоянным магнитным полем (КПМП) ( $B=50$  мкТл) вызывала отрицательный геотропизм у проростков. Длина корешка пророста достоверно снижалась относительно контрольного значения после обработки семян КПМП полем с различными экспозициями (от 1 до 24 ч). А. Г. Хныкина и Е. И. Рубцова [51] исследовали влияние импульсного электрического поля на посевные качества семян лука. Для предпосевной обработки семян было использовано несколько генераторов импульсного электрического поля и проведена сравнительная оценка влияния импульсного электрического поля высокого и низкого напряжения. Предложенный авторами активатор (камера для обработки семян) позволил исключить потери напряжения на воздушном зазоре между семенами и потенциальным электродом, что значительно повысило эффективность предпосевной обработки семян импульсным электрическим полем. Обработка семян лука импульсным электрическим полем не только повысила посевные качества, но и привела к появлению всходов на 2 суток раньше, чем у семян контрольного варианта [52, 53]. К недостаткам данного приема обработки семян следует отнести искаженную форму импульса с затянутыми фронтами, что затрудняло расчет дозы воздействия и длительность импульса.

Таким образом, в настоящее время ведется активный поиск эффективных методов праймирования семян применительно к луку репчатому. Расширяется набор методов, в которых используются прогрессивные знания, полученные на других модельных объектах и сельскохозяйственных культурах. Ожидается, что объем информации о праймировании семян будет увеличиваться, особенно если усилятся фундаментальных и

прикладных исследований будут объединены, а инновационные инструменты (например, омики) будут использоваться для изучения динамики прегерминативного (предвсходового) метаболизма.

### Коммерческое использование праймирования семян лука репчатого

В последние годы применение технологии праймирования семян в коммерческом производстве семян быстро развивалось и число семеноводческих компаний, использующих различные технологии праймирования, увеличивается. Целевые виды включают семена овощных культур и декоративных растений, обладающих тугорослостью. Некоторые компании также начали производить материалы для обработки, используемые для протравливания семян, на основе расщепленных крахмалов и аминокислот растительного происхождения. Это дает возможность использования обработки семян в органическом земледелии. В этом сценарии коммерческий сектор, занимающийся выращиванием лука репчатого, по-прежнему ограничен. В мире основные компании, занимающиеся производством лука репчатого, расположены в Европе. Италия является основным компонентом, где занимается 8 компаний. За пределами Европы 12 компаний находятся в США, 8 – в Китае и 6 – в Индии. В настоящее время доступно к широкому использованию лишь несколько рецептов, предназначенных для производственной обработки семян лука репчатого, разработанных ведущими голландскими семеноводческими компаниями (табл.).

ства данного метода (простая процедура в сочетании с низкой стоимостью применения) должны справляться с основным ограничением технологии праймирования, которое носит эмпирический характер и не всегда воспроизводимо. Как следствие, работа операторов семенных компаний затягивается, а поиск инновационных решений становится приоритетом. Учитывая эти проблемные вопросы, также очевидно, что до сих пор мало внимания уделялось праймированию семян лука репчатого. Это несомненно будет способствовать активизации работы селекционеров, технологов-семеноводов, агрономов, исследователей, действующих на разных уровнях производственной цепочки лука репчатого. Следует активизировать финансовые и практические усилия для ускорения фундаментальных и прикладных исследований в этой области с использованием уже имеющейся информации о динамике предвсходового метаболизма у наиболее изученных модельных и сельскохозяйственных растений.

Праймирование семян по-разному влияет на разные виды и даже сорта растений. Положительный результат обработок зависит от генотипа и партии семян. В некоторых случаях после праймирования наблюдаются отрицательные эффекты. Уменьшение срока жизни семян после праймирования представляют собой один из основных недостатков технологии. Следует учитывать, что до настоящего времени неизвестны глубинные механизмы, лежащие в основе реакции семян на праймирование, которые определяют основы технологии. Однако в последние годы появились новые техно-

Таблица. Доступные коммерческие продукты для улучшения семян лука репчатого  
Table. Available commercial products for onion seed improvement

Коммерческое название продукта Commercial name of the product	Описание Description	Компания (город, страна) Company (city, country)
Promotor onion	Адаптированный протокол праймирования для повышения скорости появления всходов, приводит к более равномерному прорастанию	Incotec (Enkhuizen, Нидерланды) [54]
Incotec 118 Special	Растворимая таблетка, обеспечивающая быстрый доступ семян к кислороду в сочетании с праймированием для более быстрого и равномерного прорастания	Incotec (Enkhuizen, Нидерланды) [54]
B-Mox®	Формула, улучшающая качество семян, способствует прорастанию и росту проростков (улучшение на 5 % по сравнению со стандартным праймированием)	Bejo (Warmenhuizen, Нидерланды) [55]

### Проблемные вопросы и перспективы развития технологии праймирования

При обобщении результатов экспериментальной деятельности, проведенной для оценки влияния праймирования семян лука репчатого, осмопраймирование на основе ПЭГ оказалось основным используемым методом, хотя очевидно, что усилия до сих пор не сводились к единому универсальному протоколу. Скорее, глядя на детали различных обработок, есть много параметров (молекулярная масса и концентрация ПЭГ, температура, время, наличие/отсутствие аэрации или даже обогащенного воздуха), которые необходимо отрегулировать в зависимости от генотипа и/или партии семян. В действительности, основные преимуще-

логи праймирования семян, некоторые из них еще не прошли валидацию для коммерческого использования. Наиболее широко применяемые способы праймирования основаны на замачивании семян в растворах минеральных солей. Основные вопросы, которые необходимо решить, касаются наиболее подходящего использования праймирования семян, – затрат на крупномасштабное применение и стратегий улучшения его характеристик. Все это пока открытые вопросы. Следовательно, необходимы более глубокие фундаментальные и прикладные исследования, для лучшего понятия механизма праймирования семян и выявления положительных эффектов праймирования в полевых условиях и в дальнейшем расширения его коммерческого применения.

• Литература

1. FAOSTAT. Onion Production, Area and Productivity. 2021. Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed on 12 May 2024).
2. Lyngkhai F., Saini N., Gaikwad A.B., Thirunavukkarasu N., Verma P., Silvar C., Yadav S., Khar A. Genetic diversity and population structure in onion (*Allium cepa* L.) accessions based on morphological and molecular approaches. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2021;(27):2517–2532. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-01101-3>
3. Соловьева О.А. Технология возделывания репчатого лука при капельном орошении. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2022;1(65):171–179. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-16> <https://elibrary.ru/jtiqry>
4. Villano C., Esposito S., Carucci F., Iorizzo M., Frusciante L., Carputo D., Aversano R. High-throughput genotyping in onion reveals structure of genetic diversity and informative SNPs useful for molecular breeding. *Mol. Breed.* 2019;(39):5. <https://doi.org/10.1007/s11032-018-0912-0>
5. Ren F., Zhou S. Phenolic components and health beneficial properties of onions. *Agriculture*. 2021;(11):872. <https://doi.org/10.3390/agriculture11090872>
6. Padula G., Xia X.Z., Hołubowicz R. Welsh onion (*Allium fistulosum* L.) seed physiology, breeding, production and trade. *Plants*. 2022;(11):343. <https://doi.org/10.3390/plants11030343>
7. FAO. Seed and Seed Quality: Technical Information for FAO Emergency Staff; FAO Seed and Plant Genetic Resources Service: Rome, Italy, 2006.
8. Khan M., Javed Iqbal M., Abbas M., Raza H., Waseem R., Arshad A. Loss of vigour and viability in aged onion (*Allium cepa* L.) seeds. *Int. J. Agric. Biol.* 2004;(6):708–771.
9. Borowski E., Michałek S. The effect of seed conditioning on the emergence and early growth of onion and carrot seedlings. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Setio EEE*. 2006;(16):119–129.
10. Brar N.S., Kaushik P., Dudi B.S. Assessment of natural ageing related physio-biochemical changes in onion seed. *Agriculture*. 2019;(9):163. <https://doi.org/10.3390/agriculture9080163>
11. Hourston J.E., Pérez M., Gawthrop F., Richards M., Steinbrecher T., Leubner-Metzger G. The effects of high oxygen partial pressure on vegetable *Allium* seeds with a short shelf-life. *Planta*. 2020;(251):105. <https://doi.org/10.1007/s00425-020-03398-y>
12. Heydecker W., Higgins J., Gulliver R.L. Accelerated germination by osmotic seed treatment. *Nature*. 1973;(246):42–44.
13. Heydecker W., Gibbins B.M. The 'priming' of seeds. *Acta Hort.* 1978;(83):213–215.
14. Waterworth W.M., Bray C.M., West C. E. Seeds and the art of genome maintenance. *Front. Plant Sci.* 2019;(10):706. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00706>
15. Harris D., Pathan A.K., Gothkar P, Joshi A., Chivasa W., Nyamudeza P. On-farm seed priming: Using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agric. Syst.* 2021;(69):151–164. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(01\)00023-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(01)00023-3)
16. Paul S., Dey S., Kundu R. Seed priming: An emerging tool towards sustainable agriculture. *Plant Growth Regul.* 2022;(97):215–234. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00761-1>
17. Pagano A., Macovei A., Xia X., Padula G., Hołubowicz R., Balestrazzi A. Seed Priming Applied to Onion-Like Crops: State of the Art and Open Questions. *Agronomy*. 2023;(13):288. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020288>
18. Bray C.M. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. In *Seed Development and Germination*; Kigel, J., Galili, G., Eds.; Dekker, M. Inc.: New York, NY, USA, 1995; pp. 767–789.
19. Paparella S., Araujo S.S., Rossi G., Wijayasinghe M., Carbonera D., Balestrazzi A. Seed priming: State of the art and new perspectives. *Plant Cell Rep.* 2015;(34):1281–1293. <https://doi.org/10.1007/s00299-015-1784-y>
20. Янченко А.В., Бухаров А.Ф., Федосов А.Ю. Прайминг – инновационное развитие методологии подготовки семян к посеву (обзор). *Овощи России*. 2023;(5):28–36. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-05-28-36> <https://elibrary.ru/rgdvqz>
21. Farooq M., Usman M., Nadeem F., Rehman H., Wahid A., Basra S.M.A., Siddique K.H.M. Seed priming in field crops: Potential benefits, adoption and challenges. *Crop Pasture Sci.* 2019;(70):731–771. <https://doi.org/10.1071/CP18604>
22. Sarkar D., Singh S., Parihar M., Rakshit A. Seed bio-priming with microbial inoculants: A tailored approach towards improved crop performance, nutritional security, and agricultural sustainability for smallholder farmers. *Curr. Res. Environ. Sustain.* 2021;(3):100093. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100093>
23. Madsen M.D., Svejcar L., Radke J., Hulet A. Inducing rapid seed germination of native cool season grasses with solid matrix priming and seed extrusion technology. *PLoS ONE*. 2018;(13):e0204380. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204380>
24. Rhaman M.S., Imran S., Rauf F., Khatun M., Baskin C.C., Murata Y., Hasanuzzaman M. Seed priming with phytohormones: An effective approach for the mitigation of abiotic stress. *Plants*. 2021;(10):37. <https://doi.org/10.3390/plants10010037>
25. Mahakham W., Sarmah A.K., Maensiri S., Theerakulpisut P. Nanopriming technology for enhancing germination and starch metabolism of aged rice seeds using phytosynthesized silver nanoparticles. *Sci. Rep.* 2017;(7):8263. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-08669-5>
26. El-Badri A.M.A., Batool M., Mohamed I.A.A., Khatab A., Sherif A., Wang Z.K., Salah A., Nishawy E., Ayaad M., Kuai J., et al. Modulation of salinity impact on early seedling stage via nano-priming application of zinc oxide on rape seed (*Brassica napus* L.). *Plant Physiol. Biochem.* 2021;(166):376–392. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.05.040>
27. Shelar A., Singh A.V., Maharjan R.S., Laux P., Luch A., Gemmati D., Tisato V., Singh S.P., Santilli M.F., Shelar A., et al. Sustainable Agriculture through Multidisciplinary Seed Nanopriming: Prospects of Opportunities and Challenges. *Cells*. 2021;(10):2428. <https://doi.org/10.3390/cells10092428>
28. Amritha M.S., Sridharan K., Puthur J.T., Dhankher O.M. Priming with nanoscale materials for boosting abiotic stress tolerance in crop plants. *J. Agric. Food Chem.* 2021;(69):10017–10035. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c03673>
29. Белова С.В., Янченко А.В. Эффективность праймирования семян моркови (*Daucus carota* L.) с применением нанокмполитов металлополимеров в неводных растворителях. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2023;(106):197–202. <https://doi.org/10.21515/1999-1703-106-197-202> <https://elibrary.ru/crdvkr>
30. Araújo S.S., Paparella S., Dondi D., Bentivoglio A., Carbonera D., Balestrazzi A. Physical methods for seed invigoration: Advantages and challenges in seed technology. *Front. Plant Sci.* 2016;(7):646. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00646>
31. Козлов И.И., Кунавин Г.А. Применение биологически активных веществ при выращивании лука репчатого. *Аграрный вестник Урала*. 2011;3(82):69–70. <https://elibrary.ru/pajmrf>
32. Ellis R.H., Butcher P.D. The effects of priming and 'natural' differences in quality amongst onion seed lots on the response of the rate of germination to temperature and the identification of the characteristics under genotypic control. *J. Exp. Bot.* 1988;(39):935–950.
33. Murray G.A., Swensen J.B., Beaver G. Emergence of spring- and summer-planted onions following osmotic priming. *Hortscience*. 1992;(27):409–410.
34. Bujalski W., Nienow A.W. Large-scale osmotic priming of onion seeds: A comparison of different strategies for oxygenation. *Sci. Hortic.* 1991;(46):13–24.
35. Edelstein M., Welbaum G.E. Seed O<sub>2</sub> uptake and germination of cold-tolerant and cold-intolerant cultivars of muskmelon. *Crop Sci.* 2011;(51):810–817.
36. Horita M., Saruyama H. Acceleration of germination of onion seeds by priming treatment with trehalose and raffinose. *Hortic. Res.* 2006;(5):75–78.
37. Saranya N., Renugadevi J., Raja K., Rajashree V., Hemalatha G. Seed priming studies for vigour enhancement in onion CO onion (5). *J. Pharm. Phytochem.* 2017;(6):77–82.
38. Veena M., Puthur J.T. Seed nutripriming with zinc is an apt tool to alleviate malnutrition. *Environ. Geochem. Health.* 2022;(44):2355–2373. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01054-2>

39. Thejeshwini B., Manohar Rao A., Hanuman Nayak M., Sultana R. Effect of seed priming on plant growth and bulb yield in onion (*Allium cepa* L.). *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2019;(8):1242–1249. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.131>
40. Khan M.N., Khan Z., Luo T., Liu J., Rizwan M., Zhang J., Xu Z.; Wu H., Liyong Hu L. Seed priming with gibberellic acid and melatonin in rapeseed: Consequences for improving yield and seed quality under drought and non-stress conditions. *Ind. Crops Prod.* 2020;(156):112850. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112850>
41. Caseiro R., Bennet M.A., Marcos-Filho J. Comparison of three priming techniques for onion seed lots differing in initial seed quality. *Seed Sci. Technol.* 2004;(32):365–375.
42. Da Silva J.E.S.B., de Paiva E.P., Leite M.d.S., Torres S.B., de Souza Neta M.L., Guirra K.S. Salicylic acid in the physiological priming of onion seeds subjected to water and salt stress. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 2019;(23):219–224.
43. Dearman J., Brocklehurst P.A., Drew R.L.K. Effects of osmotic priming and ageing on onion seed germination. *Ann. Bot.* 1986;(108):639–648.
44. Basra A.S., Singh B., Malik C.P. Amelioration of the effects of ageing in onion seeds by osmotic priming and associated changes in oxidative metabolism. *Biol. Plant.* 1994;(36):365–371.
45. Brar N.S., Kaushik P., Dudi B. Effect of seed priming treatment on the physiological quality of naturally aged onion (*Allium cepa* L.) seeds. *Appl. Ecol. Environ. Res.* 2019;(18):849–862.
46. Muruli C.N., Bhanuprakash K., Channakeshava B.C. Impact of seed priming on vigour in onion (*Allium cepa* L.) seeds. *J. Appl. Hortic.* 2016;(18):68–70. <https://doi.org/10.37855/jah.2016.v18i01.15>
47. Acharya P., Jayaprakasha G.K., Crosby K.M., Jifon J.L., Patil B.S. Green-synthesized nanoparticles enhanced seedling growth, yield, and quality of onion (*Allium cepa* L.). *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2019;(7):14580–14590. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02180>
48. Коцарева Н.В., Шабета О.Н., Ореховская Т.А. Влияние предпосевной обработки семян на структуру урожая лука репчатого. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии.* 2018;(4):54–58. <https://elibrary.ru/uqkita>
49. Morillo-Coronado A.C., Martinez-Anzola H.G., Velandia-Diaz J.D., Morillo-Coronado Y. Effects of static magnetic fields on onion (*Allium cepa* L.) seed germination and early seedling growth. *Rev. Ciencia Agric.* 2022;(39):30–41. <https://doi.org/10.22267/rcia.223901.169>
50. Hołubowicz R., Kubisz L., Gauza M., Tong Y., Hojan-Jeziarska D. Effect of low frequency magnetic field (LFMF) on the germination of seeds and selected useful characteristics of onion (*Allium cepa* L.). *Not. Bot. Hort. Agrobot.* 2014;(42):168–172. <https://doi.org/10.15835/nbha4219131>
51. Хныкина А.Г., Рубцова Е.И. Зависимость посевных качеств овощных культур от чистоты следования импульсов при их предпосевной обработке импульсным электрическим полем / Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона: сб. науч. тр. по материалам VII Всероссийской науч.-практ. конф. Ставрополь, 2012. С.115-123.
52. Оськин С.В., Хныкина А.Г., Рубцова Е.И. Необходимость повышения посевных качеств мелкосеменных овощных культур ИЭП. *Университет. Наука. Идеи и решения.* 2010;(1):3. <https://elibrary.ru/tyllxv>
53. Ливинский С.А., Стародубцева Г.П., Афанасьев М.А. Преобразователь напряжения для установки предпосевной обработки семян. *Вестник АПК Ставрополя.* 2016;4(24):35-39. <https://elibrary.ru/xwyxjx>
54. <https://www.incotec.com/> Available online (accessed on 12 May 2024)
55. <https://www.bejo.com/> Available online (accessed on 12 May 2024)

#### • References (In Russ.)

3. Solovyeva O.A. Onion cultivation technology under drip irrigation. *Proceedings of Lower Volga agro-university complex: science and higher education.* 2022;1(65):171-179. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-16> <https://elibrary.ru/jtiqry>
20. Yanchenko A.V., Bukharov A.F., Fedosov A.Y. Priming – innovative development of methodology preparation of seeds for sowing (review). *Vegetable crops of Russia.* 2023;(5):28-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-05-28-36> <https://elibrary.ru/rgdvqz>
29. Belova S.V., Yanchenko A.V. Effectiveness of carrot (*Daucus carota* L.) seed priming using nanocomposites of metallopolymers in non-aqueous solvents. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University.* 2023;(106):197-202. (In Russ.) <https://doi.org/10.21515/1999-1703-106-197-202> <https://elibrary.ru/crdvkr>
31. Kozlov I.I., Kunavin G.A. Use of biologically active substances in growing onions. *Agrarian bulletin of the Urals.* 2011;3(82):69-70. (In Russ.) <https://elibrary.ru/pajrnf>
48. Kotsareva N.V., Shabetya O.N., Orekhovskaya T.A. Effect of pre-sowing seed treatment on the structure of onion yield. *Bulletin of Kursk State Agricultural Academy.* 2018;(4):54-58. (In Russ.) <https://elibrary.ru/uqkita>
51. Khnykina A.G., Rubtsova E.I. Dependence of the sowing qualities of vegetable crops on the purity of pulses during their pre-sowing treatment with a pulsed electric field / New technologies in agriculture and the food industry using electrophysical factors and ozone: collection. scientific tr. based on materials from the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. conf. Stavropol, 2012. P.115-123. (In Russ.)
52. Oskin S.V., Khnykina A.G., Rubtsova E.I. The need to improve the sowing qualities of small-seeded vegetable crops IEP. *University. The science. Ideas and solutions.* 2010;(1):3. (In Russ.) <https://elibrary.ru/tyllxv>
53. Livinsky S.A., Starodubtseva G.P., Afanasyev M.A. Voltage converter for installation of pre-sowing seed treatment. *Agricultural bulletin of Stavropol region* 2016;4(24):35-39. (In Russ.) <https://elibrary.ru/xwyxjx>

#### Об авторах:

**Алексей Владимирович Янченко** – кандидат с.-х. наук, заведующий лабораторией физиологических основ семеноведения, <https://orcid.org/0000-0002-1031-9459>, SPIN-код: 2128-9539

**Александр Федорович Бухаров** – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник сектора семеноведения, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>, Scopus ID 57193127775, Researcher ID J-6605-2018, [afb56@mail.ru](mailto:afb56@mail.ru)

**Александр Юрьевич Федосов** – младший научный сотрудник сектора земледелия, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, [ffed@rambler.ru](mailto:ffed@rambler.ru)

**Мария Ивановна Иванова** – доктор с.-х. наук, профессор РАН, главный научный сотрудник сектора селекции и семеноводства луковых культур, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, автор для переписки, [ivanova\\_170@mail.ru](mailto:ivanova_170@mail.ru)

**Александр Михайлович Меньшик** – кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник сектора земледелия, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, SPIN-код: 8471 3584, Researcher ID: J-4664-2018, Scopus Author ID: 57222652225, [soulsunnet@yandex.ru](mailto:soulsunnet@yandex.ru)

**Софья Викторовна Белова** – младший научный сотрудник сектора агрохимии, <https://orcid.org/0000-0001-9338-8419>, SPIN-код: 4808-9461

#### About the Authors:

**Alexey V. Yanchenko** – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Physiological Foundations of Seed Science, <https://orcid.org/0000-0002-1031-9459>, SPIN-code: 2128-9539

**Alexander F. Bukharov** – Dr. Sci. (Agriculture), Chief scientific sector of Seed Science, <https://orcid.org/0000-0003-1910-5390>, Scopus ID 57193127775, Researcher ID J-6605-2018, [afb56@mail.ru](mailto:afb56@mail.ru)

**Alexander Yu. Fedosov** – Junior Researcher, Agriculture Sector, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>, [ffed@rambler.ru](mailto:ffed@rambler.ru)

**Maria I. Ivanova** – Dr. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Sector of Breeding and Seed Production of Onion Crops, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, Correspondence Author, [ivanova\\_170@mail.ru](mailto:ivanova_170@mail.ru)

**Aleksandr M. Menshikh** – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Agriculture Sector, SPIN-code: 8471-3584, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>, Researcher ID: J-4664-2018, Scopus ID: 57222652225, [soulsunnet@yandex.ru](mailto:soulsunnet@yandex.ru)

**Sofya V. Belova** – Junior Researcher, Agrochemistry Sector, <https://orcid.org/0000-0001-9338-8419>, SPIN-code: 4808-9461