

Этанол – регулятор прорастания семян рябины сибирской (*Sorbus sibirica*)

✉ Асбаганов С.В., Локтева А.В.

Центральный сибирский ботанический сад Сибирского отделения Российской академии наук
Новосибирск, Россия

✉ e-mail: cryonus@mail.ru

Интактные семена рябины характеризуются глубоким физиологическим покоем, обусловленным физиологическим механизмом торможения прорастания, который регулируется балансом фитогормонов. Глубина покоя зависит от индивидуальных особенностей, растения-опылителя, условий хранения и других факторов. Для преодоления покоя необходима длительная холодная стратификация при низких положительных температурах. Сочетание такой стратификации с обработкой экзогенными фиторегуляторами (кинетин, гибберелловая кислота) позволяет сократить продолжительность предпосевной обработки, но не устраняет разнокачественность семян по этому показателю. При лабораторных экспериментах с семенами помимо стимулирования их прорастания необходимо применять способы замедления прорастания для точной его регулировки. Выявлено, что этиловый спирт является эффективным регулятором прорастания семян рябины сибирской (*Sorbus sibirica* Hedl.). Этанол – естественный метаболит растений, участвует в регуляции сигнальных путей этилена, может конкурировать за места водородных связей на поверхности липидов и белков. Для эксперимента использовали полностью созревшие семена, собранные в октябре, хранившиеся при комнатной температуре в течение 150 дней. Семена стратифицировали при температуре 1–4 °C в чашках Петри. Исследовали влияние этанола в концентрациях 1–10% с шагом 1%. Выявлено выраженное ингибирующее влияние этилового спирта на прорастание семян рябины сибирской при концентрациях выше 2%. При холодной стратификации (3 °C) семян на субстрате, содержащем 5% этанола, через 150 дней стратификации отмечено полное ингибирование прорастания по сравнению с контролем, где проросло около 50% семян, при концентрации 2% – около 20%. Семена сохраняли жизнеспособность, и после увеличения продолжительности стратификации до 200 дней на субстрате, содержащем 5% спирта, прорастание составило 21%, содержащем 2% – 43% в сравнении с контролем, где проросло 65% семян. Обработка семян этанолом может быть использована как альтернативный экономичный прием регулирования прорастания семян рябины сибирской.

Ключевые слова: рябина сибирская, *Sorbus sibirica*, этанол, покой семян, регулятор прорастания

Ethanol – germination regulator of the Siberian mountain ash (*Sorbus sibirica*) seeds

✉ Asbaganov S.V., Lokteva A.V.

Central Siberian Botanical Garden of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences
Novosibirsk, Russia

✉ e-mail: cryonus@mail.ru

Intact rowan seeds are characterized by deep physiological dormancy due to the physiological mechanism of germination inhibition, which is regulated by the balance of phytohormones. The depth of dormancy depends on individual characteristics, pollinator plant, storage conditions and other factors. Long cold stratification at low positive temperatures is necessary to overcome dormancy. Combination of such stratification with treatment with exogenous phyto regulators (kinetin, gibberellic acid) allows reducing the duration of pre-sowing treatment, but does not eliminate the diversity of seeds by this indicator. When experimenting with seeds in the laboratory, in addition to stimulating germination, methods of retarding germination must be employed to fine-tune it. It was revealed that ethyl alcohol is an effective regulator of Siberian mountain ash (*Sorbus sibirica* Hedl.) seed germination. Ethanol is a natural metabolite of plants and is involved in the regulation of ethylene signaling pathways, and can compete for hydrogen bonding sites on the surface of lipids and proteins. Fully matured seeds collected in October, stored at room temperature for 150 days, were used for the experiment. The

seeds were stratified at 1–4 °C in Petri dishes. The effect of ethanol at concentrations of 1–10% in 1% increments was investigated. A pronounced inhibitory effect of ethyl alcohol on the germination of Siberian mountain ash seeds at concentrations above 2% was revealed. When the seeds were cold stratified (3 °C) on a substrate containing 5% ethanol, complete inhibition of germination was observed after 150 days of stratification compared to the control, where about 50% of the seeds germinated; about 20% of the seeds germinated at a concentration of 2%. The seeds remained viable and after increasing the duration of stratification to 200 days on substrate containing 5% alcohol germination was 21%, and it was 43% compared to the control where 65% of the seeds germinated containing 2%. Seed treatment with ethanol can be used as an alternative economical technique to regulate germination of Siberian mountain ash seeds.

Keywords: Siberian mountain ash, *Sorbus sibirica*, ethanol, seed dormancy, germination regulator

Для цитирования: Асбаганов С.В., Локтева А.В. Этанол – регулятор прорастания семян рябины сибирской (*Sorbus sibirica*) // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2024. Т. 54. № 12. С. 40–48. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-12-5>

For citation: Asbaganov S.V., Lokteva A.V. Ethanol – germination regulator of the Siberian mountain ash (*Sorbus sibirica*) seeds. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2024, vol. 54, no. 12, pp. 40–48. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2024-12-5>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Благодарность

Данное исследование профинансировано Министерством науки и высшего образования Российской Федерации в рамках программы научных исследований «Теоретические и прикладные аспекты изучения генофондов природных популяций растений и сохранения разнообразия растений «вне типичной среды обитания» (ex situ)» (AAAA-A21-121011290027-6).

Acknowledgments

This research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation program of the scientific research «Theoretical and applied aspects of studying gene pools of natural plant populations and conservation of plant diversity «outside the typical environment» (ex situ)» (AAAA-A21-121011290027-6).

ВВЕДЕНИЕ

Рябина широко распространена в северных регионах России как в естественных, так и в культурных насаждениях. По причине относительно бедного культурного состава дендрофлоры Сибири рябину активно используют в ландшафтном строительстве. В природе и культуре это дерево или кустарник третьей величины выдерживает затенение [1], что расширяет сферу ее хозяйственного применения. Оно сочетает полный комплекс хозяйственно ценных качеств: помимо высокой декоративности характеризуется богатым составом вторичных метаболитов [2] и микроэлементов плодов [3, 4], что дает возможность использовать его в пищевых [5] и лекарственных целях [6]. В плодах рябины содержатся каротиноиды [7, 8], полифенольные соединения [9], органические кислоты, пектины, дубильные и другие биологически активные вещества [6, 10], что позволяет использовать их для производства продуктов

функционального назначения [11]. Листья рябины аккумулируют из атмосферы вредные примеси [12].

Таксономический статус рябины сибирской (*Sorbus sibirica* Hedl.) спорный. Часто этот вид рассматривают в рамках обширного таксона *Sorbus aucuparia* s.l. как синоним или как один из подвидов *S. aucuparia* subsp. *sibirica* (Hedl.) Krylov. По нашему мнению, *S. sibirica* является экотипом *S. aucuparia* s.l. со свойствами для северных регионов физиологическими особенностями, которые могут затрагивать регуляцию механизмов покоя семян, как это было показано на примере *Arabidopsis thaliana* [13]. При этом таксономическая принадлежность, вероятно, не является определяющим фактором в физиологии *S. aucuparia* s.l. [14].

Семенам рябины присущ глубокий физиологический покой, обусловленный физиологическим механизмом торможения (ФМТ) прорастания, который регулируется

балансом фитогормонов (ФГ)¹⁻³. Наблюдается как индивидуальная, так и эндогенная изменчивость показателей ФМТ, зависящая от сочетания внешних и внутренних факторов. У интактных семян и эмбрионов *S. sibirica* глубина ФМТ не зависит от степени зрелости. Под интактными подразумеваются свежесобранные влажные семена и эмбрионы, которые до начала конкретного эксперимента не были подвергнуты никаким другим манипуляциям. Для снятия ФМТ у таких семян необходима длительная холодная стратификация при низких положительных температурах в диапазоне 1–4 °С. Обработка этих семян ФГ (ГК₃ + кинетин) без последующей холодной стратификации не устраняет ФМТ. Однако сочетание экзогенных ФГ с холодной стратификацией позволяет уменьшить глубину ФМТ, но практически не влияет на эндогенную изменчивость этого показателя у конкретного генотипа. Следует пояснить, что *S. sibirica* является перекрестноопыляемым растением (облигатная ксеногамия) и соответственно в зависимости от опылителя каждое конкретное семя наследует отличные от другой характеристики ФМТ. Вероятно, имеются и другие механизмы формирования семян, разнокачественных по глубине ФМТ, поскольку это может быть выгодно виду в конкретных эколого-климатических условиях. Например, благодаря разнокачественности популяция может поддерживать запас семян в почве, обеспечивая таким способом равномерность всходов независимо от величины урожая предыдущего года. Этот крайне полезный для вида механизм оказывается очень неудобен в селекционной и другой хозяйственной работе с семенами.

Одним из самых простых способов снятия разнокачественности является сочетание температурного и водного стресса в процессе холодной стратификации – экономичный

прием без использования дорогостоящих экзогенных регуляторов роста. У семян, подвергнутых такому стрессу, значительно увеличивается энергия прорастания, или дружность прорастания, что позволяет за несколько месяцев получить более 90% проростков⁴.

Еще одним неудобством при работе в лабораторных условиях с семенами рябины является преждевременное начало прорастания. Это может быть обусловлено как особенностями ФМТ, так и погодными условиями конкретного сезона. В селекционной работе далеко не всегда можно спрогнозировать глубину ФМТ у гибридных семян. Например, семена от скрещиваний ♀ *S. sambucifolia* × ♂ *S. aucuparia* и ♀ *S. sambucifolia* × ♂ *S. sibirica* практически полностью утрачивают свойственные материнскому генотипу глубину и характер покоя. Однако у семян, полученных в обратных комбинациях, где материнскими растениями были ♀ *S. sibirica* и ♀ *S. aucuparia*, он сильно отличается от покоя семян обоих родителей⁵.

Если семена при холодной стратификации начали проклевываться раньше оптимального времени посева в открытый грунт, то можно замедлить их прорастание снижением температуры стратификации до 1 °С или обработать ингибиторами, например АБК. Однако данный фиторегулятор имеет два существенных недостатка: высокую стоимость качественного реактива, а также сложный и недостаточно изученный механизм гормональной активности с побочными эффектами на развитие проростков, физиологию сеянцев и даже взрослых растений. В хозяйственной и селекционной практике необходимо стремиться к простым и менее затратным решениям, тогда как при использовании фитогормонов, как правило, требуется генетический контроль вегетативного и генеративного потомства.

¹Николаева М.Г., Лянгузова И.В., Поздова Л.М. Биология семян. СПб.: СПбГУ, 1999. 235 с.

²Stein W.I., Bonner F.T., Karrfalt R.P. *Sorbus* L. mountain-ash // Woody Plant Seed manual. USDA Forest Service Agriculture Handbook. 2008. P. 1059–1064.

³Асбаганов С.В., Кобозева Е.В., Агафонов А.В. Воздействие температурного и водного стресса на покой и прорастание семян рябины сибирской // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. Т. 47. № 5 (258). С. 33–39. DOI: 10.26898/0370-8799-2017-5-4.

⁴Асбаганов С.В., Кобозева Е.В., Агафонов А.В. Воздействие температурного и водного стресса на покой и прорастание семян рябины сибирской // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2017. Т. 47. № 5 (258). С. 33–39. DOI: 10.26898/0370-8799-2017-5-4.

⁵Нестеров Я.С., Файнгольд З.И. Период покоя гибридных семян плодовых и ягодных культур и подготовка их к посеву // Биофизические и биохимические исследования плодовых и ягодных культур. М.: Колос, 1974. С. 125–132.

Цель исследования – представить альтернативный экономичный прием регулирования прорастания семян рябины сибирской без использования фитогормонов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Семена *S. sibirica* выделили в октябре из полностью созревших плодов. При комнатной температуре их высушили до воздушно-сухого состояния и хранили в течение 150 дней. Семена и субстраты для проращивания обработали фунгицидом дифеноконазолом в концентрации 0,005%. Эксперимент проводили в лабораторных условиях в чашках Петри, в качестве субстрата использовали ватные диски, пропитанные раствором фунгицида в концентрации 0,005% и этилового спирта в концентрации от 1 до 10%. Все варианты имели трехкратную повторность, по 50 семян в каждом повторе. В контрольном варианте субстрат был пропитан дистиллированной водой с фунгицидом. Семена стратифицировали при средней температуре 3 °C (в интервале между 2 и 4 °C) в герметичных контейнерах в термостате. Каждые 15 дней в течение 210 дней отмечали число проросших семян. Для статистической обработки использовали пакет программ Microsoft 365. При подготовке публикации использовали материалы биоресурсной научной коллекции ЦСБС СО РАН «Коллекции живых растений в открытом и закрытом грунте» УНУ № USU 440534.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В хозяйственной и исследовательской практике, как правило, разрабатывают методы стимулирования прорастания семян, а ингибированию уделяется меньше внимания. Однако оба процесса имеют практическое значение. В данном исследовании мы рассматриваем этанол как простой и дешевый регулятор покоя семян *S. sibirica*. В процессе проведения экспериментов по изучению прорастания семян использовали метод холодной стерилизации химической посуды

этиловым спиртом. При этом отмечено выраженное ингибирующее влияние этого вещества на прорастание семян при закладке субстрата для стратификации в посуду с остатками этанола. Это наблюдение послужило причиной данного эксперимента и позволило найти практичный путь регулирования покоя семян *S. sibirica*.

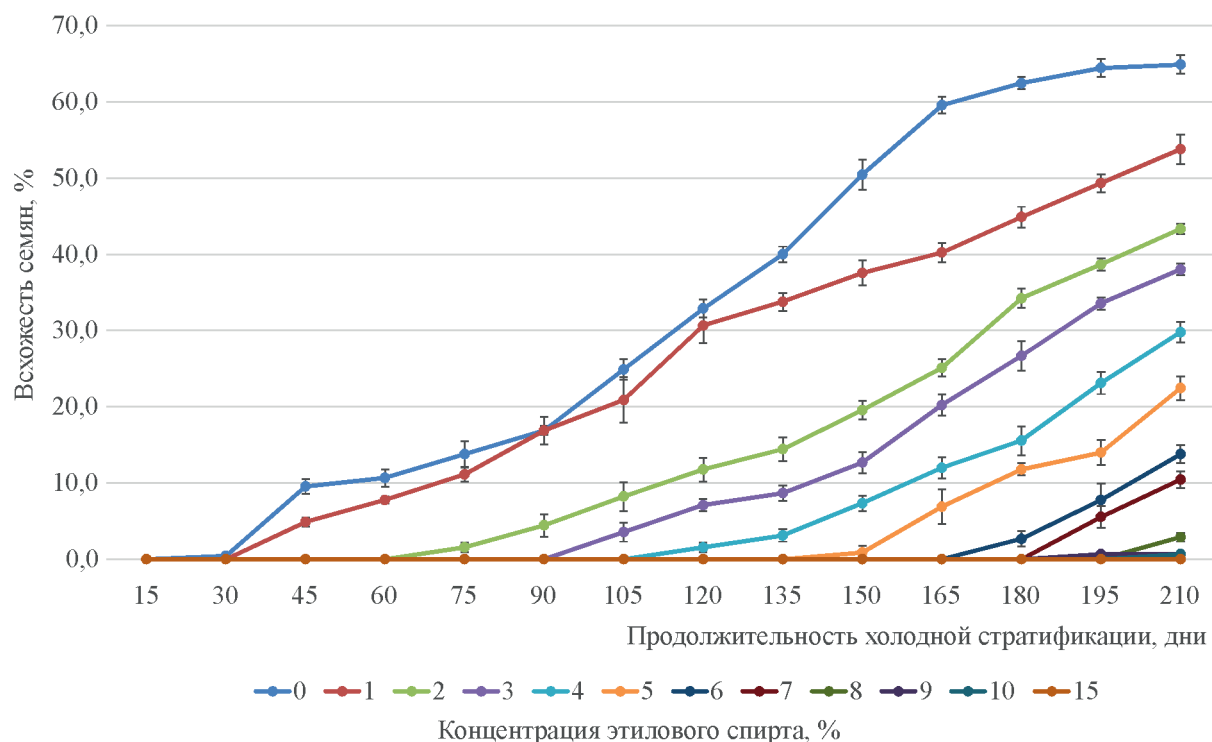
В результате исследований выявлено выраженное ингибирующее влияние этилового спирта на прорастание семян рябины сибирской при концентрациях выше 2% (см. рисунок). Холодная стратификация при низкой положительной температуре (около 3 °C) на субстрате, содержащем 5% этанола, через 150 дней приводила к полному ингибированию процесса прорастания по сравнению с контролем, где наблюдали около 50% проростков, тогда как при концентрации 2% проросло около 20% семян. Семена при этом сохраняли жизнеспособность, и после увеличения продолжительности стратификации до 7 мес на субстрате, содержащем 5% спирта, прорастание составило 21%, на субстрате, содержащем 2%, – 43% в сравнении с контролем, где проросло 65% семян.

Объяснить такое влияние этилового спирта можно, сделав предположение о преобладающем влиянии концентрации раствора, а не идентичности растворенного вещества на прорастание семян⁶, что вероятно обусловлено изменением осмотических свойств биологических мембран. Растворы таких веществ, как сахароза, этиленхлоргидрин, яблочная и аскорбиновая кислоты, значительно снижают или полностью ингибируют прорастание при концентрации растворенного вещества в районе 10%.

Осмотическая активность этанола на биологических мембранах изучена недостаточно. На основании способности воды и этанола образовывать водородные связи предполагается, что они конкурируют за места водородных связей на поверхности липидов и белков, что приводит к дезорганизации биологических мембран⁷. Однако ингибирующее влияние этанола может быть связано и с другими

⁶Нестеров Я.С., Файнгольд З.И. Период покоя гибридных семян плодовых и ягодных культур и подготовка их к посеву // Биофизические и биохимические исследования плодовых и ягодных культур. М.: Колос, 1974. С. 125–132.

⁷Mitchell D.C., Litman B.J. Effect of ethanol and osmotic stress on receptor conformation. Reduced water activity amplifies the effect of ethanol on metarhodopsin II formation // J. Biol. Chem. 2000. Vol. 275 (8). P. 5355–5360. DOI: 10.1074/jbc.275.8.5355.



Влияние этилового спирта на всхожесть семян *S. sibirica*
Effect of ethyl alcohol on the germination of *S. sibirica* seeds

механизмами, поскольку этот спирт является естественным метаболитом растений и может синтезироваться и накапливаться при различных стрессах, таких как недостаток кислорода^{8,9}, повреждения семян¹⁰, грибковые заболевания¹¹, а также во время созревания тканей плодов. В сравнении с другими широко используемыми органическими растворителями (ацетон, метанол, ДМФА, ДМСО) только этанол повышал стрессоустойчивость к холоду и высокой солености¹².

Все исследованные нами концентрации этилового спирта оказывали ингибирующее

влияние на прорастание семян *S. sibirica*. На примере других растений было показано, что в зависимости от концентраций возможно разнонаправленное влияние этанола на прорастание семян. Так, в концентрации 400 мМ этанол стимулирует прорастание семян риса, тогда как более низкие концентрации ингибировали прорастание¹³. У *Cynodon dactylon* прорастание увеличивалось при повышении концентрации этанола до 3%. Однако тот же способ обработки отрицательно повлиял на прорастание семян *Lolium perenne*¹⁴.

⁸Kimmerer T.W., Macdonald R.C. Acetaldehyde and ethanol biosynthesis in leaves of plants // Plant Physiol. 1987. Vol. 84 (4). P. 1204–1209.

⁹Mustroph A., Boamfa E.I., Laarhoven L.J.J., Harren F.J.M., Albrecht G., Grimm B. Organ-specific analysis of the anaerobic primary metabolism in rice and wheat seedlings. I: Dark ethanol production is dominated by the shoots // Planta. 2006. Vol. 225 (1). P. 103–114. DOI: 10.1007/s00425-006-0333-x.

¹⁰Woodstock L.W., Taylorson R.B. Ethanol and acetaldehyde in imbibing soybean seeds in relation to deterioration // Plant Physiol. 1981. Vol. 67 (3). P. 424–428. DOI: 10.1104/pp.67.3.424.

¹¹Kelsey R.G., Joseph G., Westlind D., Thies W.G. Ethanol and acetone from Douglasfir roots stressed by *Phellinus sulphurascens* infection: implications for detecting diseased trees and for beetle host selection // Forest Ecol. Manag. 2016. Vol. 360. P. 261–272. DOI: 10.1016/j.foreco.2015.10.039.

¹²Nguyen H.M., Sako K., Matsui A. et al. Ethanol enhances high-salinity stress tolerance by detoxifying reactive oxygen species in *Arabidopsis thaliana* and Rice // Front. Plant Sci. 2017. Vol. 8. P. 1001. DOI: 10.3389/fpls.2017.01001.

¹³Miyoshi K., Sato T. The effects of ethanol on the germination of seeds of japonica and indica rice (*Oryza sativa* L.) under anaerobic and aerobic conditions // Ann. Bot. 1997. Vol. 79 (4). P. 391–395. DOI: 10.1006/anbo.1996.0364.

¹⁴Salehi M.R., Ashiri F., Salehi H. Effect of different ethanol concentrations on seed germination of three turfgrass genera // Adv. in Nat. Appl. Sci. 2008. Vol. 2 (1). P. 6–9.

Вопрос о сигнальных путях растений, чувствительных к этанолу, до сих пор остается открытым. В недавнем исследовании [15] показано ингибирующее влияние на семена томата и арабидопсиса, которое связано с влиянием на сигнальные пути этилена. Установлено, что этанол повышает стрессоустойчивость к высокой солености у арабидопсиса и риса за счет детоксикации активных форм кислорода. Механизм такого влияния связан с индукцией транскрипции факторов, ответственных за синтез и активность цитозольной аскорбатпероксидазы и ряда других ферментов^{15, 16}.

Установленное нами влияние этанола на покой семян *S. sibirica* позволяет в значительном диапазоне регулировать процесс прорастания при относительно низких концентрациях спирта в субстрате. При этом не отмечено отрицательного влияния на жизнеспособность семян и развитие проростков, что позволяет сделать заключение о высокой эффективности, безопасности и бюджетности данного метода регулирования покоя и прорастания семян *S. sibirica*.

Эти свойства особенно важны для промышленного использования, где контроль за прорастанием семян необходим для обеспечения равномерных и контролируемых условий выращивания. Ингибирующий эффект этанола может быть использован для создания технологий, позволяющих управлять временем прорастания семян, что особенно актуально в условиях непредсказуемых климатических изменений. Именно

прорастание семян, вероятно, является наиболее чувствительной фазой к изменениям климатических условий^{17, 18} и представляет основное уязвимое место при размножении видов растений¹⁹.

Использование этанола как дешевого и доступного вещества в качестве регулятора прорастания семян представляется экономически выгодным. Это позволяет снизить затраты на покупку дорогостоящих химических регуляторов роста и фитогормонов, что особенно важно для крупномасштабных аграрных операций. В современных условиях минимизация издержек производства – одна из важнейших проблем для отечественных производителей сельскохозяйственной продукции²⁰. Кроме того, этанол даже в низких концентрациях может выступать как антимикробный агент^{21, 22}, что будет дополнительно снижать производственные издержки.

Предполагаемое влияние этанола на биологические мембраны и конкуренция за места водородных связей на поверхности липидов и белков указывают на сложность взаимодействия этанола с биологическими системами²³. Понимание этих механизмов может привести к разработке новых методов стимулирования или ингибирования роста растений в зависимости от нужд сельскохозяйственной промышленности. На основании изученного влияния этанола на прорастание семян *S. sibirica* можно предположить, что аналогичные методы могут быть применены к другим видам растений. Это открывает путь для разработки новых экономичных и

¹⁵Nguyen H.M., Sako K., Matsui A. et al. Ethanol enhances high-salinity stress tolerance by detoxifying reactive oxygen species in *Arabidopsis thaliana* and Rice // Front. Plant Sci. 2017. Vol. 8. P. 1001. DOI: 10.3389/fpls.2017.01001.

¹⁶Fujita M., Hossain M.Z. Modulation of pumpkin glutathione S-transferases by aldehydes and related compounds // Plant Cell Physiol. 2003. Vol. 44. P. 481–490. DOI: 10.1093/pcp/pcg060.

¹⁷Walck J., Hidayati S., Dixon K., Thompson K., Poschlod P. Climate change and plant regeneration from seed // Global Change Biology. 2011. Vol. 17 (6). P. 2145–2161. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02368.x.

¹⁸Bernareggi G., Carbognani M., Mondoni A., Petraglia A. Seed dormancy and germination changes of snowbed species under climate warming: the role of pre- and post-dispersal temperatures // Annals of Botany. 2016. Vol. 118 (3). P. 529–539. DOI: 10.1093/aob/mcw125.

¹⁹Lloret F., Peñuelas J., Estiarte M. Experimental evidence of reduced diversity of seedlings due to climate modification in a Mediterranean-type community // Global Change Biology. 2004. Vol. 10 (2). P. 248–258. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2004.00725.x.

²⁰Усманова Р.М. Основные направления снижения издержек в аграрном производстве // Вестник Чувашского университета. 2010. № 1. С. 508–511.

²¹Dao T., Dantigny P. Control of food spoilage fungi by ethanol // Food Control. 2011. Vol. 22 (3–4). P. 360–368. DOI: 10.1016/j.foodcont.2010.09.019.

²²Ranger C.M., Biedermann P.H.W., Phuntumart V. et al. Symbiont selection via alcohol benefits fungus farming by ambrosia beetles // Proc Natl Acad Sci USA. 2018. Vol. 115 (17). P. 4447–4452. DOI: 10.1073/pnas.1716852115.

²³Mitchell D.C., Litman B.J. Effect of ethanol and osmotic stress on receptor conformation. Reduced water activity amplifies the effect of ethanol on metarhodopsin II formation // J. Biol. Chem. 2000. Vol. 275 (8). P. 5355–5360. DOI: 10.1074/jbc.275.8.5355.

безопасных технологий предпосевной обработки семян. Важно учитывать, что применение экзогенных фитогормонов в сельском хозяйстве и селекционной работе связано с рядом трудностей. Во-первых, это значительные финансовые затраты, поскольку многие фитогормоны дороги в приобретении. Во-вторых, использование таких веществ может повлиять на дальнейшее развитие растений, включая возможные побочные эффекты, которые могут быть непредсказуемыми и потенциально нежелательными, особенно в лабораторных и селекционных исследованиях. В связи с этим особый интерес представляет использование этилового спирта как альтернативного средства для регулирования биологических процессов. Наше исследование показывает, что низкие концентрации этилового спирта (2% и выше) эффективно ингибируют прорастание семян рябины, сохраняя при этом их жизнеспособность. Это открытие имеет большое значение для промышленного применения, особенно при разработке экономичных технологий предпосевной обработки семян.

На основании проведенных исследований можно рекомендовать использование этилового спирта в качестве экономически выгодного и экологически безопасного способа предпосевной обработки семян в сельском хозяйстве. Этот метод позволяет контролировать процесс прорастания семян, в совокупности с другими методами обеспечивая высокую дружность всходов и снижая риски, связанные с использованием дорогостоящих химических регуляторов роста. Применение этилового спирта в предпосевной обработке семян может стать важным инструментом в арсенале агротехнологий, способствующих повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

ВЫВОДЫ

1. Показана роль этилового спирта как потенциального ингибитора прорастания семян, что имеет важное практическое значение для лабораторного и промышленного использования, особенно в аграрной промышленности. Эксперименты с семенами *S. sibirica* показали, что даже низкие концентрации этанола способны эффективно за-

медлять процесс прорастания. При холодной стратификации (3 °C) семян на субстрате, содержащем 5% этанола, через 150 дней стратификации наблюдали полное ингибирование прорастания по сравнению с контролем, где проросло около 50%, при концентрации 2% – около 20% семян. Семена сохраняли жизнеспособность, и после увеличения продолжительности стратификации до 200 дней на субстрате, содержащем 5% спирта, прорастание составило 21%, содержащем 2% – 43% в сравнении с контролем, где проросло 65% семян.

2. Применение этанола в предпосевной обработке семян обеспечивает не только контроль над временем прорастания, но и снижает зависимость от более дорогостоящих химических регуляторов роста. Учитывая, что этанол является естественным метаболитом растений и может накапливаться в растениях в ответ на различные стрессовые факторы, его использование в качестве регулятора прорастания может быть более предпочтительным и безопасным по сравнению с синтетическими химическими веществами.

3. Механизм действия этанола на прорастание семян еще полностью не изучен и требует дальнейших исследований. Необходимо учитывать, что влияние этанола может различаться в зависимости от конкретного вида растений и условий эксперимента. Результаты данного исследования предоставляют значительные перспективы для использования этанола в селекционной и сельскохозяйственной практике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тишкина Е.А. Сравнительная оценка состояния ценопопуляций лекарственного вида *Sorbus aucuparia* L. на Среднем Урале // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (91). С. 71–76. DOI: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-71-76.
2. Скочилова Е.А., Конюхова О.М., Мухаметова С.В. Показатели плодов рябины (*Sorbus* L.) и содержание в них вторичных метаболитов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2022. № 3 (55). С. 52–62. DOI: 10.25686/2306-2827.2022.3.52.

3. Степанова Е.М., Луговая Е.А. Минеральный состав ягод дикорастущих растений лесной зоны Магадана // Химия растительного сырья. 2022. № 2. С. 343–350. DOI: 10.14258/jcrpm.2022029742.
4. Нугматуллин Р.Х., Хасанова Л.А., Казыханова Г.Ш. Сравнительный анализ микроэлементного состава плодов *Sorbus aucuparia* // Микроэлементы в медицине. 2024. Т. 25. № 3. С. 55–57. DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-24.
5. Ренгартен Г.А., Сорокопудов В.Н. Интродукция и селекция *Sorbus* (Rosaceae) в качестве пищевого растения в странах мира // Экосистемы. 2019. № 18 (48). С. 89–96.
6. Черничкина А.Д. Сравнительный анализ состава биологически активных веществ плодов и листьев рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia fructus*) и оценка перспектив в медицине и в фармации // Глобальные проблемы современности. 2020. Т. 1. № 10–12. С. 58–62. DOI: 10.26787/nydha-2713-2048-2020-1-10-11-12-58-62.
7. Абдуллина Р.Г., Денисова С.Г., Пупыкина К.А., Шуганов З.Х. Содержание каротиноидов в плодах некоторых представителей рода *Sorbus* L. при интродукции // Химия растительного сырья. 2020. № 1. С. 229–235. DOI: 10.14258/jcrpm.2020015543.
8. Скроцкая О.В., Пунегов В.В. Содержание каротиноидов в плодах растений видов и сортов рода *Sorbus* L. при интродукции в условиях Севера (Республика Коми) // Самарский научный вестник. 2021. Т. 10. № 3. С. 112–116. DOI: 10.17816/snv2021103116.
9. Юшкова Е.И., Полехина Н.Н., Гаврилина В.А. Анализ полифенольных соединений методом LC/MS в составе экстрактов шиповника собачьего (*Rosa canina* L.), боярышника мягковатого (*Crataegus submollis*) и рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) // Естественные и технические науки. 2023. № 6 (181). С. 70–76. DOI: 10.25633/ETN.2023.06.06.
10. Троянов А.Г. Химический состав плодов рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2023. № 3. С. 103–108. DOI: 10.24412/2311-6447-2023-3-103-108.
11. Нищевская К.Н., Копылова А.В., Мотовилов О.К. Исследование органолептических показателей хлебобулочных изделий с использованием плодов рябины красной // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12 (177). С. 238–246. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-238-246.
12. Федорова Д.Г. Аккумуляция тяжелых металлов в листьях *Sorbus aucuparia* L. В условиях городской среды (на примере г. Оренбурга) // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2020. № 1. С. 55–60. DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/09.
13. Зарецкая М.В., Федоренко О.М., Лебедева О.Н. Генетические основы адаптации: время начала цветения и степень покоя семян у *Arabidopsis thaliana* северных природных популяций // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. 2020. № 11. С. 80–91. DOI: 10.17076/eb1218.
14. Vasilieva A.R., Slynko N.M., Tatarova L.E., Efimov V.M., Kuibida L.V., Asbaganov S.V., Peltek S.E. A GC-MS Chemotaxonomic Study on Lipophilic Compounds in the Bark of *S. aucuparia* subsp. *sibirica* Trees from the Population Growing in Akademgorodok, Novosibirsk (Russia) // Metabolites. 2023. Vol. 13. N 6. P. 768. DOI: 10.3390/metabo13060768.
15. Chen Y., Althiab Almasaud R., Carrie E., Desbrosses G., Binder B.M., Chervin C. Ethanol, at physiological concentrations, affects ethylene sensing in tomato germinating seeds and seedlings // Plant Science. 2020. Vol. 291. DOI: 10.1016/j.plantsci.2019.110368.

REFERENCES

1. Tishkina E.A. Comparative assessment of the state of coenopopulations of the medicinal species *Sorbus aucuparia* L. in the Middle Urals. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*, 2021, no. 5 (91), pp. 71–76. (In Russian). DOI: 10.37670/2073-0853-2021-91-5-71-76.
2. Skochilova E.A., Konyukhova O.M., Mukhametova S.V. Parameters of rowan fruits (*Sorbus* L.) and the content of secondary metabolites in them. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie = Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Forest. Ecology. Nature management*, 2022, no. 3 (55), pp. 52–62. (In Russian). DOI: 10.25686/2306-2827.2022.3.52.
3. Stepanova E.M., Lugovaya E.A. Mineral composition of wild berry fruits from the forest zone of the city of Magadan. *Khimiya rastitel'no-go syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2022, no. 2, pp. 343–350. (In Russian). DOI: 10.14258/jcrpm.2022029742.

4. Nigmatullin R.Kh., Khasanova L.A., Kazykhanova G.Sh. Comparative analysis of the microelement composition of *Sorbus aucuparia* fruits. *Mikroelementy v meditsine Prirodopol'zovanie = Trace elements in medicine*, 2024, vol. 25, no. 3, pp. 55–57. (In Russian). DOI: 10.19112/2413-6174-2024-25-3-24.
5. Rengarten G.A., Sorokopudov V.N. Introduction and selection of *Sorbus* (Rosaceae) as a food plant in countries of the world. *Ekosistemy = Ecosystems*, 2019, no. 18 (48), pp. 89–96. (In Russian).
6. Chernichkina A.D. Comparative analysis of bioactive substances content in the leaves and fruits of a rowan-tree (*Sorbus Aucuparia Fructus*) and assessment of prospects in medicine and pharmacy. *Global'nye problemy sovremennosti = Global problems of modernity*, 2020, vol. 1, no. 10–12, pp. 58–62. (In Russian). DOI: 10.26787/nydha-2713-2048-2020-1-10-11-12-58-62.
7. Abdullina R.G., Denisova S.G., Pupykina K.A., Shigapov Z.Kh. The content of carotenoids in fruits of some representatives of the *Sorbus* L. genus at introduction. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2020, no. 1, pp. 229–235. (In Russian). DOI: 10.14258/jcprm.2020015543.
8. Skrotskaya O.V., Punegov V.V. The content of carotenoids in plant fruits of *Sorbus* L. species and varieties when introduced in the North (Komi Republic). *Samarskii nauchnyi vestnik = Samara Journal of Science*, 2021, vol. 10, no. 3, pp. 112–116. (In Russian). DOI: 10.17816/snv2021103116.
9. Yushkova E.I., Polekhina N.N., Gavrilina V.A. Analysis of polyphenolic compounds by LC/MS in the composition of aqueous and water-ethanol extracts of dog rose (*Rósa canína* L.), soft hawthorn (*Crataegus submollis*) and mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.). *Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Natural and technical sciences*, 2023, no. 6 (181), pp. 70–76. (In Russian). DOI: 10.25633/ETN.2023.06.06.
10. Troyanov A.G. Chemical composition of *Sorbus aucuparia* L. fruits. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya = Technologies of the food and processing industry of AIC – healthy food*, 2023, no. 3, pp. 103–108. (In Russian). DOI: 10.24412/2311-6447-2023-3-103-108.
11. Nitsievskaya K.N., Kopylova A.V., Motovilov O.K. Studying bakery products organoleptic parameters using the *Sorbus aucuparia* L. fruits. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KrasSAU*, 2021, no. 12 (177), pp. 238–246. (In Russian). DOI: 10.36718/1819-4036-2021-12-238-246.
12. Fedorova D.G. Accumulation of heavy metals in the leaves of *Sorbus aucuparia* L. in the urban environment (on the example of Orenburg). *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Nizhnevartovsk State University*, 2020, no. 1, pp. 55–60. (In Russian). DOI: 10.36906/2311-4444/20-1/09.
13. Zaretskaya M.V., Fedorenko O.M., Lebedeva O.N. Genetic bases of adaptation: flowering time and degree of dormancy of seeds in northern natural *Arabidopsis thaliana* populations. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk = Transactions of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 2020, no. 11, pp. 80–91. (In Russian). DOI: 10.17076/eb1218.
14. Vasilieva A.R., Slynko N.M., Tatarova L.E., Efimov V.M., Kuibida L.V., Asbaganov S.V., Peltek S.E. A GC-MS Chemotaxonomic Study on Lipophilic Compounds in the Bark of *S. aucuparia* subsp. *sibirica* Trees from the Population Growing in Akademgorodok, Novosibirsk (Russia). *Metabolites*, 2023, vol. 13, no. 6, p. 768. DOI: 10.3390/metabo13060768.
15. Chen Y., Althiab Almasaud R., Carrie E., Desbrosses G., Binder B.M., Chervin C. Ethanol, at physiological concentrations, affects ethylene sensing in tomato germinating seeds and seedlings. *Plant Science*, 2020, vol. 291. DOI: 10.1016/j.plantsci.2019.110368.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Асбаганов С.В.**, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией, старший научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630090, Новосибирск, ул. Золотодолинская, 101; e-mail: cryonus@mail.ru

Локтева А.В., кандидат биологических наук, научный сотрудник

AUTHOR INFORMATION

✉ **Sergey V. Asbaganov**, Candidate of Science in Biology, Laboratory Head, Senior Researcher; **address:** 101, Zolotodolinskaya St., Novosibirsk, 630090, Russia; e-mail: Lokteva30@mail.ru

Anna V. Lokteva, Candidate of Science in Biology, Researcher

Дата поступления статьи / Received by the editors 03.09.2024
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 06.11.2024
Дата публикации / Published 25.12.2024