ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-35

ENERGY OF GERMINATION AND SEED VIABILITY OF CRIMEAN PINE DURING STIMULATION OF ELECTROLYZED WATER

S. Ya. Semenenko, M. N. Lytov, I. V. Gurina, A. N. Chushkin, E. I. Chushkina

¹Volgograd State Agrarian University, Volgograd

²Volgograd branch of the All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering
and Land Reclamation named after A.N. Kostyakova, Volgograd

³Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunova –
a branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
«Don State Agrarian University2, Novocherkassk

Received 10.01.2020

Submitted 05.03.2020

Summary

The article presents the results of a study of the effectiveness of the use of electrolyzed water for presowing stimulation of Crimean pine seeds. The research results confirmed the significant effect of electrolyzed water on the germination energy and germination of pine seeds. The environmental parameters of electrolyzed water are substantiated, providing a significant increase in germination at the highest seed germination energy.

Abstract

Relevance. Crimean pine (*Pinus nigra* subsp. *Pallasiana*) is one of the traditional cultures of land reclamation arrangement of lands in the southern regions of Russia. Forest improvement technologies are quite resource-intensive, and their effectiveness largely depends on the survival rate of planting material. Improving the quality of Crimean pine seedlings and seedlings that make up planting material, in this regard, remains an urgent task today. The aim of the research was to study the effect of treatments with electrolyzed water on the germination energy and germination of Crimean pine seeds, as the basis for the formation of high-quality planting material. **Object.** The object of research is Crimean pine seeds, considered as the subject of electrolyzed water. **Materials and methods.** The working hypothesis of the study was the assumption of the influence of water, with directionally changed environmental characteristics, on physiological processes associated with interruption of the resting state of seeds of wood, including coniferous crops, seed germination, and growth energy, which together provide friendly and uniform shoots. The methodological basis of the research was an experiment in which 6 options for treatments with electrolyzed water with different levels of shift of environmental characteristics were tested. The total sample size of the variant is 400 seeds, the sample size of seeds of one repetition is 100 pieces. Germination energy was recorded on the 7th day after the laying of the experiment, germination - on the 15th day. **Results and conclusions.** Studies have confirmed the statistically significant effect of electrolyzed water treatments on the dynamics of germination and germination of Crimean pine seeds (*Pinus nigra* subsp. *Pallasiana*). On the 7th day of the experiment, in the variants with treatment with electrochemically prepared (electrolyzed) water, the number of germinated seeds reached 54.0-65.0 % of the sample size, while in the control it did not exceed 47.3 % (with $NSR_{05} = 3.2$ %). The best indicators were obtained when treating seeds with catholytes, where the number of seeds germinated on the 7th day of the experiment reached 59.0-65.0 %. In the next three days, the process of seed germination in the control and in the variants with treatment with a weak (+400 mV) anolyte was activated. From the 10th to the 15th day of the experiment, 4.2-9.0 % of seeds sprouted in the variants. The dynamics of the formation of seedlings in this period has already been significantly reduced, development is weakened, a significant part of such seedlings die in the first days of life when the slightest unfavorable situation occurs. In the studies, the largest number of seedlings of seeds from 10 to 15 days of the experiment was obtained in the control (6.2 %), as well as in variants with seed treatment with anolyte (6.5-9.0 %). A strong trend was revealed between the germination energy and the magnitude of the electrochemically initiated shift of the redox potential of electrolyzed water in the catholyte group ($R^2 = 0.76$). In the group of anolytes, the correlation between the magnitude of the electrochemically initiated shift of the redox potential of electrolyzed water and the seed germination energy was significantly weaker ($R^2 = 0.14$), but with seed germination it was not confirmed at all. It should be recognized that such results are explained by the instability of the effects with an increase in the electrochemically ini-

tiated shift of the environmental characteristics of the anolyte, while significant variations were obtained for individual variants. In particular, when using a weak anolyte (+400 mV), seed germination was 83.0 %, which is 4.5 % more than in the control ($NSR_{05} = 4.2$ %). The highest germination rate of pine seeds, 84.0 %, was obtained during catholyte treatments with an electrochemically initiated shift of the redox potential of - 400 mV. The best results are characterized by a combination of high germination and seed germination energy, which ensures the uniformity, strength and viability of seedlings. Studies in this regard have identified the option of treating seeds with catholyte with an electrochemically determined shift of the redox potential of - 400 mV. With high germination, the germination energy increased to 65.0 %, which is 17.7 % more than the control and 10.5 % more than in the case with the use of a weak (+400 mV) anolyte.

Key words: electrolyzed water, Crimean pine, seeds, germination energy, germination.

Citation. Semenenko S.Ya., Lytov M.N., Gurina I.V., Chushkin A.N., Chushkina E.I. Energy of germination and seed viability of crimean pine during stimulation of electrolyzed water. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 1(57). 356-368 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-35.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 630*232.31:633.877.3:621.357

ЭНЕРГИЯ ПРОРАСТАНИЯ И ВСХОЖЕСТЬ СЕМЯН СОСНЫ КРЫМСКОЙ ПРИ СТИМУЛИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОЛИЗОВАННОЙ ВОДОЙ

С. Я. Семененко¹, доктор сельскохозяйственных наук

М. Н. Лытов², кандидат сельскохозяйственных наук

И. В. Гурина³, доктор сельскохозяйственных наук

А. Н. Чушкин¹, кандидат технических наук

Е. И. Чушкина¹, кандидат сельскохозяйственных наук

¹Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

²Волгоградский филиал Всероссийский НИИ гидротехники и мелиорации
имени А.Н. Костякова, г. Волгоград

³Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортумова – филиал
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования «Донской государственный аграрный университет», г. Новочеркасск

Дата поступления в редакцию 10.01.2020

Дата принятия к печати 05.03.2020

Актуальность. Сосна крымская (*Pinus nigra* subsp. *Pallasiana*) является одной из традиционных культур лесомелиоративного обустройства земель южных регионов России. Технологии лесомелиоративного обустройства довольно ресурсоемки, а их эффективность во многом зависит от приживаемости посадочного материала. Повышение качества сеянцев и саженцев крымской сосны, составляющих посадочный материал, в этой связи и сегодня остается актуальной задачей. Целью являлось исследование влияния обработок электролизованной водой на энергию прорастания и всхожесть семян сосны крымской как основы формирования высококачественного посадочного материала. **Объект.** Объектом исследований являются семена сосны крымской, рассматриваемые в качестве предмета воздействия электролизованной воды. **Материалы и методы.** Рабочей гипотезой исследования стало предположение о влиянии воды с направленно измененными средовыми характеристиками на физиологические процессы, связанные с прерыванием состояния покоя семян древесных, в том числе хвойных культур, прорастанием семени, энергией роста, обеспечивающие в совокупности дружные и равномерные всходы. Методологической основой исследований стал эксперимент, в ходе которого апробировано 6 вариантов обработок электролизованной водой с различными уровнями сдвига средовых характеристик. Общий объем выборки по варианту составляет 400 семян, объем выборки семян одной повторности 100 штук. Энергия прорастания регистрировалась на 7 сутки после закладки опыта, всхожесть – на 15 сутки. **Результаты и выводы.** Исследованиями подтверждено статистически значимое влияние обработок электролизованной водой на ди-

намику прорастания и всхожест семян сосны Крымской (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*). На 7-й день опыта в вариантах с обработкой электрохимически подготовленной (электролизованной) водой число проросших семян достигало 54,0-65,0 % от объема выборки, тогда как на контроле – не превышало 47,3 % (при $НСР_{05} = 3,2$ %). Лучшие показатели были получены при обработке семян катодами, где число проросших на 7-й день опыта семян достигало 59,0-65,0 %. В последующие три дня активизировался процесс прорастания семян на контроле и в вариантах с обработкой слабым (+400 мВ) анолитом. С 10 по 15 день опыта в вариантах проросло еще по 4,2-9,0 % семян. Динамика формирования проростков семян в этот период уже существенно снижена, развитие ослаблено, значительная часть таких всходов погибает в первые дни жизни при наступлении малейшей неблагоприятной ситуации. В исследованиях наибольшее число проростков семян с 10 по 15 день опыта было получено на контроле (6,2 %), а также в вариантах с обработкой семян анолитом (6,5-9,0 %). Выявлен сильный тренд между энергией прорастания и величиной электрохимически инициированного сдвига окислительно-восстановительного потенциала электролизованной воды по группе католиков ($R^2=0,76$). В группе анолитов корреляционная связь между величиной электрохимически инициированного сдвига окислительно-восстановительного потенциала электролизованной воды и энергией прорастания семян оказалась существенно слабее ($R^2=0,14$), а со всхожест семян вообще не подтверждена. Следует признать, что такие результаты объясняются нестабильностью эффектов при повышении электрохимически инициированного сдвига средовых характеристик анолита, тогда как по отдельным вариантам получены значимые прибавки. В частности, при использовании слабого анолита (+400 мВ) всхожест семян составила 83,0 %, что на 4,5 % больше, чем на контроле ($НСР_{05} = 4,2$ %). Наибольшая всхожест семян сосны - 84,0 %, была получена при проведении обработок католиком с электрохимически инициированным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала -400 мВ. Наилучшие результаты характеризуются сочетанием высокой всхожести и энергии прорастания семян, что обеспечивает равномерность, силу и жизнеспособность всходов. Исследованиями в этом плане выделен вариант обработки семян католиком с электрохимически обусловленным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала -400 мВ. При высокой всхожести энергия прорастания возрастала до 65,0 %, что на 17,7 % больше контроля и на 10,5 % больше, чем в варианте с использованием слабого (+400 мВ) анолита.

Ключевые слова: электролизованная вода, сосна крымская, семена сосны крымской, энергия прорастания семян, всхожест семян сосны, стимулирование семян.

Цитирование. Семененко С. Я., Лытов М. Н., Гурина И.В., Чушкин А. Н., Чушкина Е. И. Энергия прорастания и всхожест семян сосны крымской при стимулировании электролизованной водой. *Известия НВ АУК*. 2020. 1(57). 357-369. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-35.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Сосна крымская, или сосна Палласа (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) является одной из традиционных культур лесомелиоративного обустройства земель южных регионов России. В зоне сухих степей подавляющее большинство древесных насаждений создано искусственно, преимущественно путем высадки семян или саженцев древесных культур [1]. Эта технология – одна из наиболее ресурсоемких в решении задач лесомелиоративного обустройства. Затраты на реализацию технологии усугубляются значительной долей потерь растений на стадии приживаемости семян (саженцев) при пересадке, а также при выращивании, собственно, самого посадочного материала [8, 12-14]. Задача на этих этапах технологии создания искусственных древесных насаждений сводится к получению равномерных, дружных всходов, выживаемости семян и формированию качественного посадочного материала. Эти факторы оказывают решающее влияние на приживаемость семян в зонах лесомелиоративного обустройства, а также на себестоимость создания искусственных древесных насаждений. Решение этих задач на основе новых, научно-обоснованных технологий подготовки посевного материала с применением электролизованной воды является целью настоящего исследования.

Материалы и методы. Рабочей гипотезой исследования стало предположение о влиянии воды с направленно измененными средовыми характеристиками на физиологические процессы, связанные с прерыванием состояния покоя семян древесных, в том числе хвойных культур, прорастанием семени, энергией роста, обеспечивающих в совокупности дружные и равномерные всходы [3, 5]. Дистиллированная вода имеет нейтральные средовые характеристики. Диссоциация молекул воды на ионы водорода и гидроксильной группы в этом случае характеризуется состоянием, когда окисленные и восстановленные формы уравниваются друг друга. Близкие, но не равные нейтральным значения среды формируются у слабоминерализованной, «пресной» воды. Например, водопроводная вода в результате растворенных в ней веществ приобретает небольшой, но устойчивый положительный сдвиг окислительно-восстановительного потенциала, в опытах он составлял +200 мВ. Технология электрохимической водоподготовки предполагает изменение средовых характеристик воды, в определенных случаях более чем существенное, без добавления каких бы то ни было химических веществ. Такой эффект определяется расщеплением формулы воды на положительно заряженные ионы водорода и гидроксильной группы, с сопутствующим образованием кислорода, молекулярного водорода, перекисных соединений, а также целого комплекса метастабильных химических соединений, обусловленных общей минерализацией воды [7, 9, 11]. Электролиз воды на диафрагменном электролизере обеспечивает разделение потоков воды, насыщенных положительно и отрицательно заряженными ионами. В результате формируется контролируемый сдвиг средовых характеристик воды, в первую очередь характеризуемый рН и изменением окислительно-восстановительного потенциала. Этот сдвиг средовых характеристик воды и предлагается использовать для воздействия на биологические объекты, которые в данном случае представлены семенами сосны Крымской.

Биологическое действие электролизованной воды подтверждено многими российскими и зарубежными исследователями [2-4, 6, 10, 15]. В исследованиях О. А. Пасько [4] с семенами амаранта отмечены два, имеющие, как нам кажется, самое существенное значение фактора биологического действия электролизованной воды. Автор указывает на возможность создания искусственных условий для запуска механизма деления клеток путем активации ферментов при формировании соответствующего вектора протон-движущей силы, направленного из клетки наружу. Такая сила может быть

создана при гидратации семян католизом, окислительно-восстановительный потенциал которого отрицателен. Наряду с этим отмечается, что ввиду анаэробного дыхания семени вплоть до прорастания корешка важно создание среды, насыщенной кислородом. Католиз в этом плане является наиболее бедной средой, а анолиз – как раз обогащенной. Необходимость поиска оптимального баланса в отношении среды для проращивания семян сосны Крымской при применении электролизованной воды определила схему эксперимента, главной особенностью которой стало варьирование величины электрохимически обусловленного сдвига окислительно-восстановительного потенциала воды как в положительную, так и в отрицательную стороны.

Опыт был проведен со следующим составом вариантов: вариант 1 (контроль) – необработанная слабоминерализованная питьевая вода (соответствующая СанПиН 2.1.4.1074-01); вариант 2 – вода с электрохимически инициированным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала -200 мВ (слабый католиз); вариант 3 – вода с электрохимически инициированным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала -400 мВ (сильный католиз); вариант 4 – вода с электрохимически инициированным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала $+400$ мВ (слабый анолиз); вариант 5 – вода с электрохимически инициированным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала $+600$ мВ (средний анолиз); вариант 6 – вода с электрохимически инициированным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала $+800$ мВ (сильный анолиз). Все условия проведения опыта были соблюдены в соответствии с ГОСТ 13056.6-97 «Семена деревьев и кустарников: метод определения всхожести». Для соблюдения требований по температуре и влажности воздуха, режиму светового облучения семян при проращивании использовали сушевоздушный термостат ТВ-80-1. Общий объем выборки по варианту составляет 400 семян, объем выборки семян одной повторности 100 штук. Энергия прорастания регистрировалась на 7 сутки после закладки опыта, всхожесть – на 15 сутки. Выработка электролизованной воды с заданными параметрами осуществлялась на экспериментальном диафрагменном электролизере проточного типа.

Результаты и обсуждение. Исследования показали преимущество в динамике прорастания семян по всем вариантам, включающим обработку электролизованной водой (таблица 1).

Контрольный вариант отличался наименьшим числом проростков, которое не превышало 47,3 % от объема семян в выборке. В вариантах с обработкой электрохимически подготовленной (электролизованной) водой число проросших семян достигало 54,0-65,0 % от объема выборки, прибавка в отношении к контролю оказалась статистически достоверной на 5%-ном уровне значимости ($НСП_{05} = 3,2$ %). Наибольшее число проростков, 65,0 %, на седьмой день опытов удалось получить в вариантах, где для обработки семян использовали сильный католиз, с электрохимически обусловленным уровнем смещения окислительно-восстановительного потенциала -400 мВ. Увеличение числа проросших семян по отношению к контролю здесь составило 17,7 %. При обработке анолизом эффект оказался намного скромнее, но и здесь получили статистически достоверные прибавки.

К десятому дню после закладки опытов ситуация существенно изменилась. За прошедшие три дня наибольшую динамику прорастания показали семена на контрольном варианте, где для смачивания использовали необработанную воду. Число проросших семян здесь оказалось на 25,0 % больше, чем на седьмой день прорастания. Довольно значительно число проросших семян возросло в вариантах, где обработки проводили слабым католизом (-200 мВ) или слабым анолизом ($+400$ мВ), - на 17,0-19,5 %.

Наиболее слабой динамикой прорастания семян в эти три дня характеризовался вариант, где обработки проводили анолитом с электрохимически обусловленным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала +600 мВ. Это определило отставание варианта по динамике прорастания семян сосны от вариантов с другими параметрами электрохимически обусловленного сдвига окислительно-восстановительного потенциала, а также от контроля.

Таблица 1 – Динамика прорастания семян сосны Крымской при обработке электролизованной водой с различным уровнем электрохимически инициированного сдвига

Table 1 – Dynamics of seed germination of Crimean pine when treated with electrolyzed water with a different level of electrochemically initiated shear

Вариант опыта / Experienceoption	Доля проросших семян сосны, % / The proportion of sprouted pine seeds, %			
	на 7 день по- сле закладки опыта / on the 7th day after the bookmark experience	на 10 день после заклад- ки опыта / on the 10th day after the bookmark experience	на 15 день по- сле заклад- ки опыта / on the 15th day after the bookmark experience	с 7-го по 15-й день после закладки опыта / from the 7th to the 15th day after laying the ex- perience
Контроль (необработанная вода) / Thecontrol	47,3	72,3	78,5	31,3
Слабый католит / Weakcatholyte (pH=10,03 Eh= -200 мВ)	59,0	76,0	81,3	22,3
Сильный католит / Strongcatholyte (pH=10,92 Eh= -400 мВ)	65,0	79,8	84,0	19,0
Слабый анолит / Weakanolyte (pH=7,33, Eh= +400 мВ)	54,5	74,0	83,0	28,5
Средний анолит / Mediumanolyte (pH=6,84, Eh= +600 мВ)	57,0	70,3	76,8	19,8
Сильный анолит / Stronganolyte (pH=2,9, Eh= +800 мВ)	54,0	72,8	80,3	26,3
HCP ₀₅ , % / LSD ₀₅ , %	3,2	3,8	4,2	-

Произошли существенные изменения и в отношении статистически достоверных эффектов по числу проросших семян сосны относительно контроля. Среди вариантов с обработкой семян католитом статистически достоверное увеличение проросших семян относительно контроля показал только один, где для смачивания использовали электролизованную воду с окислительно-восстановительным потенциалом -400 мВ. При обработке анолитом число проросших семян сосны относительно контрольного варианта изменялось в пределах ошибки опыта, то есть статистически доказано не было.

За последние пять дней, с 10 по 15 день опыта, в вариантах проросло еще по 4,2-9,0 % семян. Как видно, динамика прорастания семян в этот период уже существенно снижена. Кроме того, эти семена характеризуются наиболее ослабленными проростками и дают довольно слабые всходы. Значительная часть таких всходов погибает в первые дни жизни при наступлении малейшей неблагоприятной ситуации. Проростки, полученные в эти дни, характеризуют также и увеличение вариабельности качества всходов, а в дальнейшем и сеянцев. В исследованиях наибольшее число проростков семян с

10 по 15 день опыта было получено на контроле (6,2 %), а также в вариантах с обработкой семян анолитом (6,5-9,0 %). В вариантах, обработанных католитом, с 10 по 15 день опыта было получено не более 4,2-5,3 % всходов, причем меньшие значения справедливы для вариантов с большей величиной среднего сдвига электролизованной воды. Наряду с этим общее число проростков при обработке семян католитом к 15 дню достигло 81,3-84,0 % и было наибольшим в сравнении с контролем и вариантами, где обработку семян проводили анолитом.

Таким образом, общая тенденция формирования проростков на фоне обработок семян электролизованной водой характеризуется увеличением динамики прорастания семян при использовании католитов, преимущественно сильных, с окислительно-восстановительным потенциалом -400 мВ. Данная закономерность подтверждается и результатами статистического анализа трендов влияния электролизованной воды на энергию прорастания семян сосны Крымской (рисунок 1). Корреляция электрохимически инициированного сдвига окислительно-восстановительного потенциала католита и энергии прорастания семян сосны оказалась высокой, квадрат коэффициента корреляции составил 0,76.

Рисунок 1 – Основные тренды влияния электролизованной воды на энергию прорастания семян сосны Крымской

Figure 1 – The main trends in the influence of electrolyzed water on the germination energy of Crimean pine seeds

Относительно анолита тренд получился значительно более слабым, квадрат коэффициента корреляции энергии прорастания семян с величиной электрохимически инициированного сдвига электролизованной воды не превышал 0,14.

На рисунке 2 показаны тренды влияния электролизованной воды на всхожесть семян сосны Крымской. Относительно контроля (без электрохимически инициированного сдвига окислительно-восстановительного потенциала) тренды выражены в меньшей степени, чем по энергии прорастания. Однако и здесь преимущество оказалось за католитом, корреляция величины электрохимически инициированного сдвига со всхожестью здесь характеризовалась $R^2=0,37$.

Рисунок 2 – Основные тренды влияния электролизованной воды на всхожесть семян сосны Крымской

Figure 2 – The main trends in the influence of electrolyzed water on the germination of Crimean pine seeds

При обработке анолитом коррелированности признаков выявлено не было: квадрат коэффициента корреляции между величиной электрохимически инициированного сдвига и всхожестью семян не превышал 0,0007. Следует отметить, что при обработке семян слабым анолитом (+400 мВ) был получен статистически доказанный эффект повышения всхожести. Всхожесть семян сосны Крымской возросла на 4,5 % относительно контроля (при $HCp_{05}=4,2$ %) и достигла 83,0 %. Однако при более сильных положительных сдвигах окислительно-восстановительного потенциала анолита эффект оказался неустойчивым, что полностью размыло статистические оценки корреляционной связи.

Статистические оценки энергии прорастания семян сосны Крымской (Палласа) в связи с исследованием эффективности обработки электролизованной водой приведены в таблице 2. Наибольшая средняя оценка энергии прорастания (65,0 %) получена при обработке семян католитом с окислительно-восстановительным потенциалом -400 мВ. Минимальной оценкой средней энергии прорастания (47,3 %) характеризовались семена сосны на контроле, где обработки проводили природной (не электролизованной) водой. Однако, кроме средних оценок показателя, большое значение имеет величина вариальности его значений, оцененная по повторностям опыта. Вариальность показателя свидетельствует, насколько стабилен проявляемый эффект, какова частота и величина ожидаемых отклонений от средней. Стабильный эффект является предпочтительным для реализации технологии, тогда как высокая вариальность может и совершенно нивелировать высокие оценки средней. Исследования показали, что использование католита для обработки семян Крымской сосны не только повышает энергию прорастания, но и увеличивает стабильность проявления этого эффекта. Например, при использовании слабого католита (с окислительно-восстановительным потенциалом -200 мВ) коэффициент вариации энергии прорастания семян сосны снижался почти в 2,5 раза в сравнении с контролем. При обработке сильными католитами (-400 мВ) коэффициент вариации снижался до 3,8 %, что характеризует высокую стабильность эффекта и в 3,8 раза меньше, чем на контроле.

Таблица 2 – Статистические оценки энергии прорастания семян сосны Крымской (Палласа) в зависимости от варианта обработки электролизованной водой (мощность выборки 400 сем.)

Table 2 – Statistical estimates of the energy of seed germination of pine (Pinusnigra subsp. Pallasiana) depending on the treatment option with electrolyzed water

Вариант опыта / Experience option	Средняя оценка, % / Averagerating, %	Сумма квадратов отклонений / Sumofsquared- deviations	Дисперсия / Dispersion	Стандартное от- клонение, % / Standarddeviation, %	Коэффициент ва- риации, % / The coefficient of variation, %
Контроль (необработанная вода) / The control	47,3	144,8	48,3	6,9	14,7
Слабый католит / Weak catholyte (pH=10,03 Eh= -200 мВ)	59,0	38,0	12,7	3,6	6,0
Сильный католит / Strong catholyte (pH=10,92 Eh= -400 мВ)	65,0	18,0	6,0	2,4	3,8
Слабый анолит / Weak anolyte (pH = 7,33, Eh = +400мВ)	54,5	307,0	102,3	10,1	18,6
Средний анолит / Medium anolyte (pH=6,84, Eh= +600 мВ)	57,0	98,0	32,7	5,7	10,0
Сильный анолит / Strong anolyte (pH=2,9, Eh= +800 мВ)	54,0	26,0	8,7	2,9	5,5

Использование анолита хотя и увеличивало оценки средней энергии прорастания семян сосны, но стабильность эффекта была всегда ниже, чем при использовании католитов. Например, при использовании слабого анолита (+400 мВ) коэффициент вариации показателя в выборке составил 18,6 %, что в 1,26 раза больше, чем на контроле. При использовании сильного анолита (+800 мВ) коэффициент вариации энергии прорастания семян в выборке снизился до 5,5 %, однако и оценка средней здесь оказалась невысокой – 54,0 %.

Статистические оценки всхожести семян приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Статистические оценки всхожести семян сосны Крымской (Палласа) в зависимости от варианта обработки электролизованной водой (мощность выборки 400 сем.)

Table 3 – Statistical estimates of the germination of pine seeds (Pinusnigra subsp. Pallasiana) depending on the treatment option with electrolyzed water

Вариант опыта / Experience option	Средняя оценка, % / Averagerating, %	Сумма квадратов отклонений / Sumofs- quareddeviations	Дисперсия / Dispersion	Стандартное от- клонение, % / Standard-deviation %	Коэффициент вариации, % / The coefficient of var- iation, %
Контроль (необработанная вода) / The control	78,5	75,0	25,0	5,0	6,4
Слабый католит / Weak catholyte (pH=10,03 Eh= -200 мВ)	81,3	12,8	4,3	2,1	2,5
Сильный католит / Strong catholyte (pH=10,92 Eh= -400 мВ)	84,0	8,0	2,7	1,6	1,9
Слабый анолит / Weak anolyte (pH=7,33, Eh= +400мВ)	83,0	14,0	4,7	2,2	2,6
Средний анолит / Medium anolyte (pH=6,84, Eh= +600 мВ)	76,8	88,8	29,6	5,4	7,1
Сильный анолит / Strong anolyte (pH=2,9, Eh= +800 мВ)	80,3	20,8	6,9	2,6	3,3

Наибольшие оценки средней по всхожести семян сосны были получены в вариантах с обработкой католитом (-400 мВ), 84,0 %, и анолитом (+400 мВ), 83,0 %. Эффект оказался довольно устойчив в обоих случаях, – коэффициент вариации показателя по анолиту составил 2,6 %, а по католиту – 1,9 %.

В сравнении с контролем (где использовали не прошедшую электрохимическую обработку воду) вариабельность всхожести семян сосны снижалась в 1,9-3,3 раза, эффект оказался достаточно устойчивым, а прибавка по наиболее продуктивным вариантам статистически значимой. Исключение составил вариант, где семена обрабатывали анолитом с окислительно-восстановительным потенциалом +600 мВ. Вариабельность показателя здесь оказалась выше, чем на контроле (коэффициент вариации 7,1 %), а оценка средней по всхожести семян не превышала 76,8 %.

Выводы. Исследованиями подтверждено статистически значимое влияние обработок электролизованной водой на динамику прорастания и всхожесть семян сосны Крымской (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*). Выявлен сильный тренд между энергией прорастания семян и величиной электрохимически инициированного сдвига окислительно-восстановительного потенциала электролизованной воды по группе католитов ($R^2=0,76$). В группе анолитов корреляционная связь между величиной электрохимически инициированного сдвига окислительно-восстановительного потенциала электролизованной воды и энергией прорастания семян оказалась существенно слабее ($R^2=0,14$), а со всхожестью семян вообще не подтверждена. Следует признать, что такие результаты объясняются нестабильностью эффектов при повышении электрохимически инициированного сдвига средовых характеристик анолита, тогда как по отдельным вариантам получены значимые прибавки. В частности, при использовании слабого анолита (+400 мВ) всхожесть семян составила 83,0 %, что на 4,5 % больше, чем на контроле ($НСР_{05} = 4,2$ %). Наибольшая всхожесть семян сосны – 84,0 % – была получена при проведении обработок католитом с электрохимически инициированным сдвигом окислительно-восстановительного потенциала -400 мВ. По энергии прорастания полученные данные также указывают на преимущество использования для обработки семян сильных католитов (-400 мВ): энергия прорастания при этом возрастала до 65,0 %, что на 17,7 % больше контроля и на 10,5 % больше, чем в варианте с использованием слабого (+400 мВ) анолита. Качество и выравненность всходов при этом существенно возрастает. Это позволяет рекомендовать такие параметры средового сдвига в качестве опорных для разработки технологии предпосевной подготовки семян сосны Крымской с использованием электролизованной воды.

Библиографический список

1. Влияние светостимуляции на всхожесть семян сосны крымской (*Pinus Pallasiana*) / Н. Б. Бобровская, Л. Н. Ибрагимова, С. Н. Кружилин, С. С. Таран // Современные наукоемкие технологии. 2013. №9. С. 20-22.
2. Егоров В. В., Кордонская М. А., Кондаков А. М. Зависимость скорости бимолекулярной реакции в активированной воде от концентрации и температуры // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2015. № 10. С. 65-67.
3. Механизм биологического действия и опыт применения электрохимически активированных водных сред в сельском хозяйстве / Е. И. Чушкина, С. Я. Семенов, М. Н. Лытов, А. Н. Чушкин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4 (20). С. 170-185.
4. Пасько О. А. Метаболизм в семенах амаранта при воздействии электрохимически активированной воды // Сельскохозяйственная биология. 2013. Т. 48. № 3. С. 84-91.
5. Перспективы использования электрохимически активированных жидких сред в сельском хозяйстве / А. А. Былгаева, Н. А. Обоева, М. П. Неустроев, Н. П. Тарабукина, А. Н. Максимова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 4. С. 176-181.
6. Стариков А. В., Колесников А. В., Найденов В. В. Стимулирование роста тепличных растений путем подпитки электрохимически активированной водой с использованием специальной системы туманообразования // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2017. Т. 5. № 1 (27). С. 345-350.

7. De Radigues Q., Thunis G., Proost J. On the use of 3-D electrodes and pulsed voltage for the process intensification of alkaline water electrolysis // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. N.56. P. 29432-29440.

8. Drivers of seedling survival in a temperate forest and their relative importance at three stages of succession / Y. Yan, C. Y. Zhang, Y. X. Wang, X. H. Zhao, K. von Gadow // *Ecology and Evolution*. 2015. Vol. 5. N.19. P. 4287-4299.

9. Electrocatalysts for water electrolysis / A. Sh. Aliyev, R. G. Guseynova, U. M. Gurbanova, D. M. Babanly, V. N. Fateev, I. V. Pushkareva, D. B. Tagiyev // *KimyaProblemleri*. 2018. Vol. 16. N.3. P. 283-306.

10. Evaluation of electrolyzed oxidizing water for phytotoxic effects and pre-harvest management of gray mold disease on strawberry plants / J. L. Guentzel, M. A. Callan, K. L. Lam, S. A. Emmons, V. L. Dunham // *Crop Protection*. 2011. Vol. 30. N.10. P. 1274-1279.

11. In-situ investigation and modeling of electrochemical reactions with simultaneous oxygen and hydrogen microbubble evolutions in water electrolysis / Y. F. Li, G. Q. Yang, S. L. Yu, Z. Y. Kang, J. K. Mo, B. Han, D. A. Talley, F. Y. Zhang // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2019. Vol. 44. N.52. P. 28283-28293.

12. Macera L. G., Pereira S. R., de Souza A. L. T. Survival and growth of tree seedlings as a function of seed size in a gallery forest under restoration // *Acta Botanica Brasiliica*. 2017. Vol. 31. N.4. P. 539-545.

13. Seed germination and initial seedling survival of the subalpine tree species, *Picea jezoensis*, on different forest floor substrates under elevated temperature / A. R. Han, H. J. Kim, J. B. Jung, P. S. Park // *Forest Ecology and Management*. 2018. Vol. 429. P. 579-588.

14. Survival and growth dynamics of red spruce seedlings planted under different forest cover densities and types / D. Dumais, C. Larouche, P. Raymond, S. Bedard, M. C. Lambert // *New Forests*. 2019. Vol. 50. N.4. P. 573-592.

15. The relationship between antioxidant enzymes activity and mungbean sprouts growth during the germination of mungbean seeds treated by electrolyzed water / R. Liu, D. C. Zhang, X. L. He, S. Nirasawa, E. Tatsumi, H. J. Liu // *Plant Growth Regulation*. 2014. Vol. 74. N.1. P. 83-91.

Conclusions. Studies have confirmed the statistically significant effect of electrolyzed water treatments on the dynamics of germination and germination of Crimean pine seeds (*Pinus nigra* subsp. *Pallasiana*). A strong trend was revealed between the energy of seed germination and the magnitude of the electrochemically initiated shift of the redox potential of electrolyzed water in the catholyte group ($R^2 = 0.76$). In the group of anolytes, the correlation between the magnitude of the electrochemically initiated shift of the redox potential of electrolyzed water and the seed germination energy was significantly weaker ($R^2 = 0.14$), and with seed germination it was not confirmed at all. It should be recognized that such results are explained by the instability of the effects with an increase in the electrochemically initiated shift of the environmental characteristics of the anolyte, while significant variations were obtained for individual variants. In particular, when using a weak anolyte (+400 mV), seed germination was 83.0%, which is 4.5% more than in the control (HCP05 = 4.2%). The highest germination rate of pine seeds, 84.0%, was obtained during catholyte treatments with an electrochemically initiated shift of the redox potential of -400 mV. According to the germination energy, the data obtained also indicate the advantage of using strong catholytes (-400 mV) for seed treatment: the germination energy increased to 65.0%, which is 17.7% more than the control and 10.5% more than variant with the use of a weak (+400 mV) anolyte. The quality and uniformity of seedlings increases significantly. This allows us to recommend such parameters of the environmental shift as reference for the development of technology for pre-sowing preparation of Crimean pine seeds using electrolyzed water.

References

1. Vliyanie svetostimulyacii na vsxozhest' semyan sosny krymskoj (*Pinus Pallasiana*) / N. B. Bobrovskaya, L. N. Ibragimova, S. N. Kruzhilin, S. S. Taran // *Sovremennye naukoemkie tehnologii*. 2013. №9. P. 20-22.

2. Egorov V. V., Kordonskaya M. A., Kondakov A. M. Zavisimost' skorosti bimolekulyarnoj reakcii v aktivirovannoj vode ot koncentracii i temperatury // *Veterinariya, zootehniya i biotekhnologiya*. 2015. № 10. P. 65-67.

3. Mechanism biologicheskogo dejstviya i opyt primeneniya jlektrohimicheski aktivirovannyh vodnyh sred v sel'skom hozyajstve / E. I. Chushkina, S. Ya. Semenenko, M. N. Lytov, A. N. Chushkin // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. 2015. № 4 (20). P. 170-185.
4. Pas'ko O. A. Metabolizm v semenah amaranta pri vozdeystvii jelektrohimicheski aktivirovannoj vody // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2013. T. 48. № 3. P. 84-91.
5. Perspektivy ispol'zovaniya jlektrohimicheski aktivirovannyh zhidkih sred v sel'skom hozyajstve / A. A. Bylgaeva, N. A. Oboeva, M. P. Neustroev, N. P. Tarabukina, A. N. Maksimova // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2018. № 4. P. 176-181.
6. Starikov A. V., Kolesnikov A. V., Najdenko V. V. Stimulirovanie rosta teplichnyh rastenij putem podpitki jlektrohimicheski aktivirovannoj vodoj s ispol'zovaniem special'noj sistemy tuma-noobrazovaniya // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teoriya i praktika. 2017. T. 5. № 1 (27). P. 345-350.
7. De Radigues Q., Thunis G., Proost J. On the use of 3-D electrodes and pulsed voltage for the process intensification of alkaline water electrolysis // International Journal of Hydrogen Energy. 2019. Vol. 44. N.56. P. 29432-29440.
8. Drivers of seedling survival in a temperate forest and their relative importance at three stages of succession / Y. Yan, C. Y. Zhang, Y. X. Wang, X. H. Zhao, K. von Gadow // Ecology and Evolution. 2015. Vol. 5. N.19. P. 4287-4299.
9. Electrocatalysts for water electrolysis / A. Sh. Aliyev, R. G. Guseynova, U. M. Gurbanova, D. M. Babanly, V. N. Fateev, I. V. Pushkareva, D. B. Tagiyev // KimyaProblemleri. 2018. Vol. 16. N.3. P. 283-306.
10. Evaluation of electrolyzed oxidizing water for phytotoxic effects and pre-harvest management of gray mold disease on strawberry plants / J. L. Guentzel, M. A. Callan, K. L. Lam, S. A. Emons, V. L. Dunham // Crop Protection. 2011. Vol. 30. N.10. P. 1274-1279.
11. In-situ investigation and modeling of electrochemical reactions with simultaneous oxygen and hydrogen microbubble evolutions in water electrolysis / Y. F. Li, G. Q. Yang, S. L. Yu, Z. Y. Kang, J. K. Mo, B. Han, D. A. Talley, F. Y. Zhang // International Journal of Hydrogen Energy. 2019. Vol. 44. N.52. P. 28283-28293.
12. Macera L. G., Pereira S. R., de Souza A. L. T. Survival and growth of tree seedlings as a function of seed size in a gallery forest under restoration // Acta Botanica Brasilica. 2017. Vol. 31. N.4. P. 539-545.
13. Seed germination and initial seedling survival of the subalpine tree species, *Picea jezoensis*, on different forest floor substrates under elevated temperature / A. R. Han, H. J. Kim, J. B. Jung, P. S. Park // Forest Ecology and Management. 2018. Vol. 429. P. 579-588.
14. Survival and growth dynamics of red spruce seedlings planted under different forest cover densities and types / D. Dumais, C. Larouche, P. Raymond, S. Bedard, M. C. Lambert // New Forests. 2019. Vol. 50. N.4. P. 573-592.
15. The relationship between antioxidant enzymes activity and mungbean sprouts growth during the germination of mungbean seeds treated by electrolyzed water / R. Liu, D. C. Zhang, X. L. He, S. Nirasawa, E. Tatsumi, H. J. Liu // Plant Growth Regulation. 2014. Vol. 74. N.1. P. 83-91.

Информация об авторах:

Semenenko Sergey Yakovlevich, professor of the Department of Land Reclamation and IWR of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Agrarian University», (400002, Southern Federal District, Volgograd Region, Volgograd, pr. Universitetsky, 26.), doctor Agricultural Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6274-9565> pniiemt@yandex.ru

Lytov Mikhail Nikolaevich, Leading Researcher, Volgograd Branch of the Federal State Budget Scientific Institution All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation A.N. Kostyakova (400002, Volgograd, Timiryazev St., 9), Candidate of Agricultural Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825> LytovMN@yandex.ru

Gurina Irina Vladimirovna, deputy director for scientific and innovative work of the Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunova - a branch of the Don State Agrarian University, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education (111, Pushkinskaya St., Rostov Region, Novocherkassk, 346428), Doctor of Agricultural Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-3480> i-gurina@mail.ru

Chushkin Aleksey Nikolaevich, engineer of the Volgograd State Agrarian University Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education, (400002, Southern Federal District, Volgograd Region, Volgograd, pr. Universitetsky, 26.), candidate of technical sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4856-5049> pniemt@yandex.ru

Chushkina Elena Ivanovna, Chushkina Elena Ivanovna, Head of the Laboratory of the Department of Land Reclamation and IWR of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Volgograd State Agrarian University» (400002, Southern Federal District, Volgograd Region, Volgograd, pr. Universitetsky, 26.), Candidate of Agricultural Sciences, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2551-5516> pniemt@yandex.ru

Информация об авторах

Семененко Сергей Яковлевич, профессор кафедры мелиорации земель и КИВР федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6274-9565> pniemt@yandex.ru

Лытов Михаил Николаевич, ведущий научный сотрудник Волгоградского филиала федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова» (400002, г. Волгоград, ул. Тимирязева, 9), сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2743-9825> LytovMN@yandex.ru

Гурина Ирина Владимировна, заместитель директора по научной и инновационной работе Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111), доктор сельскохозяйственных наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4045-3480> i-gurina@mail.ru

Чушкин Алексей Николаевич, инженер федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), кандидат технических наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4856-5049> pniemt@yandex.ru

Чушкина Елена Ивановна, заведующая лабораторией кафедры мелиорации земель и КИВР федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет», (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), кандидат сельскохозяйственных наук, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2551-5516> pniemt@yandex.ru