

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЙ ПЕРОКСИД ВОДОРОДА: ПОЛУЧЕНИЕ, РОСТРЕГУЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА

Апашева Л.М.¹, Будник М.И.¹, Лобанов А.В.¹, Овчаренко Е.Н.¹, Розанцев М.В.², Турбин В.В.², Сергеев А.И.¹, Стребков Д.С.³

¹ Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН
ул. Косыгина, 1, г. Москва, РФ; e-mail: apasheva@rambler.ru

² НПО «Экопероксид водорода»

21 км Варшавского ш, 1. Ленинский район, поселение Булатниковское, Московская обл., РФ;
e-mail: info@ecoperoksid.ru

³ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

1-й Институтский проезд, 5, г. Москва, РФ; e-mail: nauka-ds@mail.ru

Поступила в редакцию: 14.07.2021

Аннотация. Пероксид водорода уникальное низкомолекулярное соединение во многом определяет физиологические и биохимические процессы живой природы. В природе пероксид существует и его можно определить в чистых природных водах. Появляется все больше сообщений об использовании пероксида в практике сельского хозяйства и медицины. Разработана природоподобная технология и создана установка для получения экологически чистого водного раствора пероксида водорода (экопероксид) без стабилизаторов. Способ аналогичен действию разряда молнии. Исследована его рострегулирующая активность на трех видах растений в стрессовых условиях культивирования: 1. Минимальное увлажнение воздушной среды 2. Минимальное увлажнение грунта в замкнутом объеме. Показано, что раствор экопероксида стимулирует рост и развитие растений при определенной концентрации пероксида водорода в растворе, а именно $3,5 \cdot 10^{-5}$ М, растворы экопероксида с большей концентрацией пероксида водорода блокируют рост и развитие растений. Показано методом ПМР изменение структуры внутриклеточной воды при действии пероксида водорода. Экопероксид способствует более связанному состоянию протонов воды в клетках растений, увеличению количества воды, связанной с клеточными структурами. Экопероксид способствует выживанию растений в стрессовых условиях, повышает физиологический статус растения, что определяется в значительной мере увеличением количества связанной внутриклеточной воды.

Ключевые слова: пероксид водорода, природоподобные технологии, экопероксид, биологическая активность, стресс.

Пероксид водорода уникальное низкомолекулярное соединение во многом определяет физиологические и биохимические процессы живой природы.

Его значимость в биоорганических процессах дает основание отнести пероксид к веществам, играющим важную роль в поддержании жизни на Земле. В природе пероксид существует и его можно определить в чистых природных водах, в составе дождевой воды и снега. В Московской области описано наличие пероксида с концентрацией его в дождевой воде до 1 мг/л [1].

Начиная с 19 века появляются сообщения о результатах изучения пероксида и его атомарного кислорода, о включении пероксида в медицинскую практику [2].

Известно, что процесс фотосинтеза играет основополагающую роль в жизнедеятельности растений, а эффективность фотосинтеза в значительной мере зависит от пероксида водорода [3].

Ранее нами была показана значимость пероксида в качестве антистрессового регулятора роста при выращивании растений в стрессовых ситуациях дефицита влаги, пониженных температур, засоленности грунтов (RU 2264070, RU 2423813, RU 2445759).

Все большее внимание к изучению свойств пероксида водорода, к изучению механизма его действия способствует и поиск новых методов получения пероксида. Существует несколько способов его получения путем контактного и бесконтактного воздействия на воду. Промышленный пероксид высококонцентрированный водный раствор, который стабилизируют различными добавкам, часто токсичными, для замедления его разложения. Наличие стабилизаторов затрудняет использование коммерческого пероксида в практике с/х.

Мы получали пероксид водорода бесконтактным высокоэнергетическим способом воздействия на воду стримерами высоковольтного электрического разряда, аналогом молниевых разрядов, с помощью созданной установки [4]. А именно, в реакторе над поверхностью воды устанавливали электрод из электропроводящего материала, соединяли электрод с высоковольтным выводом трансформатора, подавали на электрод электрическую энергию от трансформатора, создавали стримеры электрического разряда между электродом, воздушной средой и поверхностью воды с образованием в воде пероксида водорода.

Количество пероксида, получаемого в растворе определяли методом иодометрии [5]. Описанным способом возможно получение раствора с концентрацией в растворе пероксида до $1 \cdot 10^{-3}$ М. Получаемый без добавок наночастиц водный раствор экологически чистого пероксида (далее ЭПВ) с концентрацией пероксида $1 \cdot 10^{-3}$ М можно считать экологически чистым раствором.

Цель работы определить влияние ЭПВ на развитие растений, оценить его рострегулирующую активность. В работе использовали ЭПВ с концентрацией в нем пероксида $3,5 \cdot 10^{-4}$ М, $3,5 \cdot 10^{-5}$ М, $3,5 \cdot 10^{-6}$ М. Исследование вели двумя способами подраживания растений в экстремальных условиях.

1. Условия минимального увлажнения воздушной среды методом дозированного опрыскивания.
2. Условия минимального однократного увлажнения грунта при изоляции растения от внешней среды.

Тест-объектами были следующие растения;

Кукуруза сорт Песня

Огурец сорт Конкурент

Редис сорт Жара

Вариант № 1

Использование ЭПВ для увлажнения воздушной среды.

Установка для орошения воздушной среды состоит из двух блоков: контрольный блок, где орошение осуществляется дистиллированной водой, опытный блок, где орошение осуществляется растворами ЭПВ с разными концентрациями пероксида, а именно $3,5 \cdot 10^{-4}$ М, $3,5 \cdot 10^{-5}$ М, $3,5 \cdot 10^{-6}$ М. Режим работы установки: орошение воздушной среды в течение 25 сек, которое автоматически включается каждые 20 мин, работа в течение 6 часов в сутки на свету, затем автоматически осуществляется отключение освещения и увлажнения на 18 часов.

Семена раскладывали на сетчатый поддон, что обеспечивало свободный сток увлажнителя для его повторного использования. Описанные условия культивирования имитируют возможные условия работы в теплице, что позволяет прогнозировать использование растворов ЭПВ в практике растениеводства.

Анализ полученных результатов показал, что стимуляция прорастания и роста проростков отмечены при использовании ЭПВ с концентрацией пероксида $3,5 \cdot 10^{-5}$ М. Эта концентрация пероксида близка к значениям его в природных водах. Наиболее выраженный эффект стимуляции развития опытных растений отмечен при обработке семян огурца, когда получено превышение контрольных значений на 220%. Для семян редиса – 160% превышение контрольных значений, незначительный эффект стимуляции отмечен при работе с семенами кукурузы – всего 110%. Использование растворов ЭПВ с концентрацией пероксида $3,5 \cdot 10^{-4}$ М замедляло прорастание семян и блокировало рост проростков. При орошении раствором ЭПВ с концентрацией пероксида, $3,5 \cdot 10^{-6}$ М не зафиксировано отличия от контроля ни в одном из вариантов.

На рисунке 1 представлены проросшие семена огурца: слева – контроль, справа – опыт. На рисунке 2 представлены проросшие семена редиса: слева – контроль, справа – опыт.

Полученные данные с использованием ЭПВ с различными концентрациями пероксида водорода в его растворах для орошения воздушной среды при культивирование трех видов растений в малых объемах и в ограниченный временной период свидетельствуют, что ЭПВ можно отнести к регуляторам роста растений при использовании его растворов в определенной концентрации для получения либо блокирования, либо стимулирования развития растений с учетом определенного вида растения. Это соответствует определению «регулятор роста растений», когда действие препарата эффективно при учете видовой и сортовой специфичности в определенной концентрации действующего начала.



Рисунок 1. Семена огурца сорт Конкурент через 3 суток после орошаемого проращивания с концентрацией пероксида водорода $3,5 \cdot 10^{-5}$ М



Рисунок 2. Семена редиса сорт Жара через 3 суток после орошаемого проращивания с концентрацией пероксида водорода $3,5 \cdot 10^{-5}$ М

Вариант № 2

Семена огурца сорт Конкурент изначально проращивали в дистиллированной воде. Живые наклюнувшиеся семена помещали в пластиковые прозрачные сосуды из ПЭТ-пластика на грунт - промытый песок. Песок однократно изначально увлажняли в контроле дистиллированной водой, в опыте растворами ЭПВ одинаковым объемом увлажнителя. Сосуды герметично закрывали и выставляли в люминостат с ритмом освещения свет: темнота = 12:12 час. Длительность эксперимента 35 суток.

Наблюдение за развитием растений вели дистанционно. Для учета и анализа эффекта действия ЭПВ пробы отбирали из аналогичных дублирующих сосудов. При однократном увлажнении песка растворами ЭПВ с концентрацией в нем пероксида $3,5 \cdot 10^{-4}$ М отмечено угнетение, а затем и блокирование роста проростков и их гибель к 6-м суткам опыта. При использовании раствора ЭПВ с концентрацией пероксида $3,5 \cdot 10^{-6}$ М отличие от контроля по тесту развития проростков не отмечено. В варианте, где проростки росли на песке, однократно увлажненным раствором ЭПВ с концентрацией пероксида $3,5 \cdot 10^{-5}$ М, отмечено опережение роста и развития проростков в опыте по сравнению с контрольными значениями. Наблюдали опережение по времени появления семядольного листа, увеличение высоты надземной части проростков, начальные сроки роста в замкнутом объеме до 10 суток. Далее наблюдали постепенную потерю тургора, угнетение роста, а к 35-м суткам опыта в контроле не было живых растений, в опыте выжило 25% растений.

Объяснением повышенной устойчивости, антистрессового действия ЭПВ на растения могут быть наблюдаемые в опытных вариантах структурные изменения внутриклеточной воды в проростках огурца. Проведены эксперименты с использованием метода протонной спин-спиновой релаксации ПМР [6,7]. Процессы спин-спиновой релаксации описываются временем релаксации T_2 . Для фракции свободной воды время релаксации – 2 сек, для воды, связанной с клеточными структурами – десятки мсек.

Для опытов отбирали проростки огурца, подрощенные в контроле на воде, в опыте на растворе ЭПВ. В опытных образцах определено увеличение вклада в кривую поперечной намагниченности быстрой компоненты T_2 . Это соответствует более связанному состоянию протонов воды, вклад связанной воды в опыте достигает 20–40%, в контроле – это 11–14% от общего количества протонов воды в клетках. Получено, что растворы ЭПВ с определенной концентрацией пероксида, а именно $3,5 \cdot 10^{-5}$ М при контакте с растением влияют на изменения структуры внутриклеточной воды, увеличивают количество воды, связанной с клеточными структурами.

Таким образом, экопероксид, получаемый по предложенной нами природоподобной технологии, можно отнести к классу веществ – регуляторов роста растений. Использование экопероксида для культивирования растений в созданных стрессовых условиях минимального увлажнения либо воздушной среды, либо грунта, повышает устойчивость растений к стрессу. Оптимальным раствором экопероксида в качестве антистрессового препарата в изученных условиях является его раствор с концентрацией пероксида водорода, близкой к концентрации его в водах грозового дождя, а именно $3,5 \cdot 10^{-5}$ М.

Получаемый ЭПВ способствует выживанию растений в стрессовых условиях, повышая физиологический статус растения, что определяется в значительной мере увеличением количества связанной внутриклеточной воды.

Список литературы / References:

1. Позин М.Е. *Перекись водорода и перекисные соединения*. Л. М.: ГХИ, 1951. [Pozin M.E. *Hydrogen peroxide and peroxide compounds*. L. M.: GKHI, 1951. (In Russ.)]
2. Дуглас У. *Целительные свойства пероксида водорода*. СПб-Питер, 2004, 180 с. [Douglas W. *Healing properties of hydrogen peroxide*. SPB-Peter, 2004, 180 p. (In Russ.)]
3. Комиссаров Г.Г. *Фотосинтез: физикохимический подход*. М.: Едиториал УРСС, 2003, 223 с. [Komissarov G.G. *Photosynthesis: a physicochemical approach*. M.: Editorial URSS, 2003, 223 p. (In Russ.)]
4. Стребков Д.С., Будник М.И., Апашева Л.М., Лобанов А.В., Овчаренко Е.Н., Вигдорчиков О.В., Турбин В.В. *Способ и устройство получения экологически чистого раствора пероксида водорода из воды* Международная заявка на изобретение № PCT/RU2020/000364 [Strebkov D.S., Budnik M.I., Apasheva L.M., Lobanov A.V., Ovcharenko E.N., Vigdorchikov O.V., Turbin V.V. *Method and device for producing an environmentally friendly solution of hydrogen peroxide from water*. International application for invention No. PCT / RU2020 / 000364 (In Russ.)]
5. Лобанов А.В., Рубцова Н.А., Веденева Н.И., Комиссаров Г.Г. Фотокаталитическая активность хлорофилла в образовании пероксида водорода в воде. *Докл РАН*, 2008, том 421, № 6, с. 773-776. [Lobanov A.V., Rubtsova N.A., Vedeneva N.I., Komissarov G.G. Photocatalytic activity of chlorophyll in the formation of hydrogen peroxide in water. *Dokl. RAS*, 2008, vol. 421, no. 6, pp. 773-776. (In Russ.)]
6. Апашева Л.М., Комиссаров Г.Г. *Способ защиты растений от засухи*. Патент РФ 423813, 2011. [Apasheva L.M., Komissarov G.G. *Method of protecting plants from drought*. RF Patent 423813, 2011. (In Russ.)]
7. Апашева Л.М., Лобанов А.В., Комиссаров Г.Г. *Изменение структуры внутриклеточной воды*. V съезд биофизиков России, 2015, т. 2. [Apasheva L.M., Lobanov A.V., Komissarov G.G. *Changes in the structure of intracellular water of the*. V Congress biophysicists of Russia, 2015, vol. 2. (In Russ.)]

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY HYDROGEN PEROXIDE: PRODUCTION, GROWTH-REGULATING PROPERTIES**Apasheva L.M.¹, Budnik M.I.¹, Lobanov A.V.¹, Ovcharenko E.N.¹, Rozancev M.V.², Turbin V.V.², Sergeev A.I.¹, Strebkov D.S.³**

¹ N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics Russian Academy of Sciences
4 Kosygina Street, Build. 1, Moscow, 119991, Russia; e-mail: apasheva@rambler.ru

² Scientific and production Association "Eco hydrogen peroxide"
21 km of Varshavskoye highway, 1, Bulatnikovskoye rural settlement, Moscow region, 142718, Russia;
e-mail: info@ecoperoksid.ru

³ Federal Scientific Agroengineering Center VIM
1st Institutsky proezd, 5, Moscow, 109428, Russia; e-mail: nauka-ds@mail.ru

Abstract. Hydrogen peroxide, a unique low molecular weight compound, largely determines the physiological and biochemical processes of living nature. Peroxide exists in nature and can be determined in pure natural waters. There are more and more reports on the use of peroxide in the practice of agriculture and medicine. A nature-like technology has been developed and an installation has been created for producing an environmentally friendly aqueous solution of hydrogen peroxide (eco-peroxide) without stabilizers. The method is similar to the action of a lightning discharge. Its growth-regulating activity was studied on three plant species under stressful cultivation conditions: 1. Minimum humidification of the air 2. Minimum soil moisture in a confined space. It has been shown that a solution of ecoperoxide stimulates the growth and development of plants at a certain concentration of hydrogen peroxide in the solution, namely $3.5 \cdot 10^{-5}$ M, solutions of ecoperoxide with a higher concentration of hydrogen peroxide block the growth and development of plants. The PMR method demonstrated changes in the structure of intracellular water under the action of hydrogen peroxide. Ecoperoxide promotes a more bound state of water protons in plant cells, an increase in the amount of water associated with cellular structures. Ecoperoxide promotes the survival of plants under stress conditions, increases the physiological status of the plant, which is largely determined by an increase in the amount of bound intracellular water.

Key words: *hydrogen peroxide, nature-like technologies, eco-peroxide, biological activity, stress.*