

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА / ELECTROTECHNOLOGY, ELECTRICAL EQUIPMENT AND
POWER SUPPLY OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.67>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫХ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ РАСТВОРОВ В
ПЧЕЛОВОДСТВЕ

Научная статья

Оськин С.В.¹, Цокур Д.С.^{2,*}, Федак С.М.³

¹ ORCID : 0000-0001-7274-5229;

² ORCID : 0000-0003-3291-810X;

^{1, 2, 3} Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (dmitry_tsokur[at]mail.ru)

Аннотация

Повышение экологической чистоты продукции сельскохозяйственного производства невозможно получить без использования новых электрофизических способов борьбы с вредителями. Проведенные многими исследователями научные изыскания доказывают перспективность применения электроактивированных растворов – анолитов для бактерицидных обработок сельскохозяйственных объектов. В работе раскрывается проблема описания физических и химических процессов, происходящих при электрохимической активации воды в электролизере диафрагменного типа. Моделирование проводилось в программном пакете Comsol, который позволяет провести совместное исследование различных физических процессов. Авторам удалось описать основные физико-химические процессы и получить решения с высоким уровнем совпадения с экспериментальными данными.

Ключевые слова: электроактивация, анолит, бактерицидная обработка, моделирование.

USE OF ELECTROACTIVATED DISINFECTANT SOLUTIONS³ IN BEEKEEPING

Research article

Oskin S.V.¹, Tsokur D.S.^{2,*}, Fedak S.M.³

¹ ORCID : 0000-0001-7274-5229;

² ORCID : 0000-0003-3291-810X;

^{1, 2, 3} Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (dmitry_tsokur[at]mail.ru)

Abstract

Increase of ecological purity of agricultural production is impossible to obtain without the use of new electrophysical methods of pest control. Scientific research conducted by many scientists proves the promising application of electroactivated solutions – anolytes for bactericidal treatments of agricultural objects. The work describes the problem of description of physical and chemical processes occurring at electrochemical activation of water in diaphragm type electrolyser. Modelling was carried out in the software package Comsol, which allows a joint study of various physical processes. The authors managed to describe the main physical and chemical processes and to obtain solutions with a high level of coincidence with experimental data.

Keywords: electroactivation, anolyte, bactericidal treatment, modelling.

Введение

Производство сельскохозяйственной продукции вынуждено происходить с применением химических препаратов для защиты от вредителей и для стимулирования развития растений. Известно, что количество химических средств, стимулирующих рост, протравливающих и дезинфицирующих все время увеличивается. Это обосновано тем, что вредные организмы мутируют и адаптируются к действующим веществам и необходимо все время обновлять препараты или увеличивать дозу внесения. Однако многие вещества накапливаются в пищевой продукции, которая может стать ядом не только для человека, но и для животных.

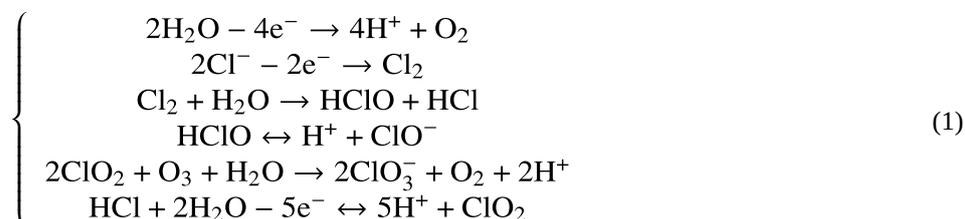
Установлено, что клетки высших организмов имеют химическую систему антиоксидантной защиты, предотвращающей их повреждение. Наиболее перспективный путь борьбы с вредными микроорганизмами – это использование фундаментальных различий живых существ макро и микромира [1]. Эффективное средство такой борьбы можно получить с помощью диафрагменного электроактиватора. Смесь метастабильных веществ анолита не дает возможность адаптироваться микроорганизмам к действию данных соединений. Концентрации соединений активного хлора и кислорода имеют довольно низкий уровень и обеспечивают необходимый уровень безопасности для человека и окружающей среды. Также многими исследователями доказана высокая эффективность бактерицидной обработки озоном. При этом можно проводить обработку, как газообразным его состоянием, так и растворенным в воде.

Многими исследователями отмечается сложность описания процессов, происходящих при электролизе с наличием диафрагмы. Это объясняется с большим количеством обратимых и необратимых электрохимических реакций, происходящих с различной скоростью в межэлектродном пространстве. Основой высокой эффективности анолитов является присутствие хлорсодержащих и кислородсодержащих соединений. При этом ведущую роль бактерицидного

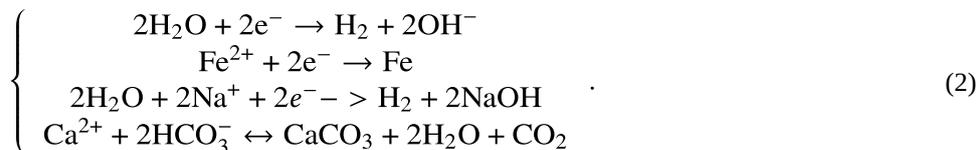
действия отводят хлорноватистой кислоте. Много исследований по применению анолита с соответствующим оборудованием проведено под руководством В. Бахира и другими авторами [2], [3], [4], [5], [6], [7]. Такими исследованиями установлено, что наблюдается потеря антимикробных свойств анолита при хранении. Исследованиями свойств анолита с использованием в различных областях сельскохозяйственного производства занимаются и в Кубанском ГАУ [8], [10]. В университете был подтвержден хороший дезинфицирующий эффект в пчеловодстве [9] и также отмечалось уменьшение активности анолита с течением времени. Следовательно, необходимо продолжить исследования процессов электроактивации и установить необходимые условия для сохранения активности анолита или более быстрого его применения. Провести исследования по увеличению активности анолита путем насыщения его озоном барботированием.

Модель

Используя возможности программного комплекса Comsol по мультифизическому моделированию были определены необходимые интерфейсы для исследования непроточного электроактиватора. Геометрическая модель была разработана в соответствии с геометрией ионизатора воды «Ива». Решения уравнений тепловых процессов проводилось в блоке "Heat Transfer". Моделирование движения жидкости из-за тепловой конвекции проводилось в интерфейсе "Laminar Flow". Электролитические процессы моделировались в интерфейсе "Tertiary Current Distribution". В качестве начальных условий установлены концентрации химических элементов и соединений: Na, Cl, Mg, SO₄, HCO₃, K, Ca, Cl₂, O₂, H₂, Fe, HClO, HCl, ClO₂, CaCO₃, O₃, NaOH, ClO₃, ClO. Значения коэффициентов диффузии принимались по литературным данным. В интерфейсах "Electrode Surface" на аноде описывалось образование кислорода, озона и хлора, а на катоде – восстановление водорода и железа. Так как в анодной камере идет образование хлор содержащих соединений, то принимались следующие основные уравнения химических реакций [10]:



На катоде идет выделение водорода с восстановлением металлов и идут реакции по образованию гидроксидов и карбонатов:



Выбранные интерфейсы связаны через мультифизические блоки "Electrochemical Heating" и "Nonisothermal Flow". Решения проводились в нестационарном режиме.

Изменения температуры раствора исследовались в объеме активатора и с течением времени. На рисунке 1 представлены термограммы раствора через 14 минут работы, где можно видеть, что наиболее нагретым является анолит – превышение температуры анолита над катодом составляет 6-8 градусов. Внутри анодной камеры виден подъем температуры верхней части анолита. На рисунке 2 представлены изображения образования гидроксидов натрия через 12 минут работы активатора, где наблюдается повышенная концентрация около катода. Установлено, что концентрация гидроксида через 12 минут работы достигает значений $65 \cdot 10^{-8}$ моль/м³ и в то же время за анодом концентрация находится на уровне только $1 \cdot 10^{-8}$ моль/м³.

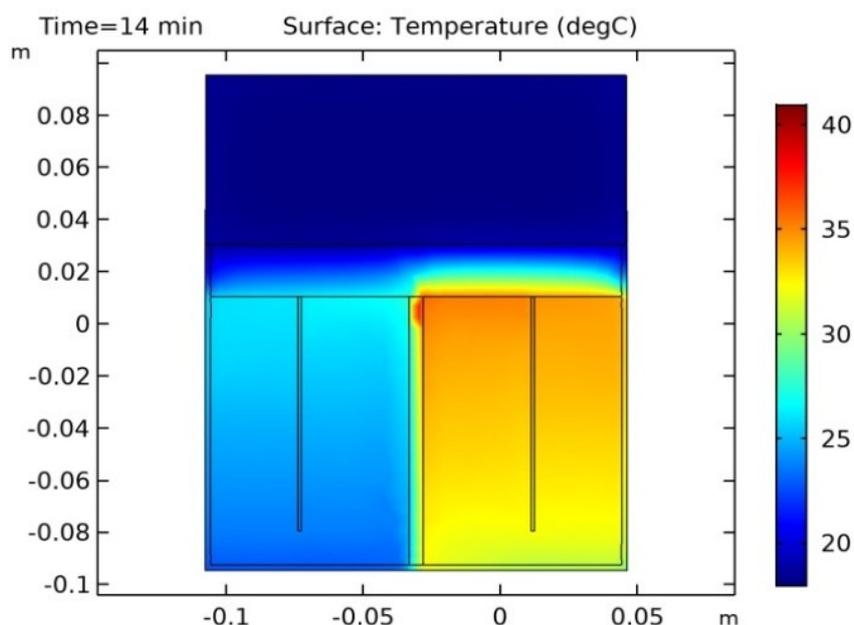


Рисунок 1 - Изображения температурных полей в активаторе через 14 минут процесса
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.67.1>

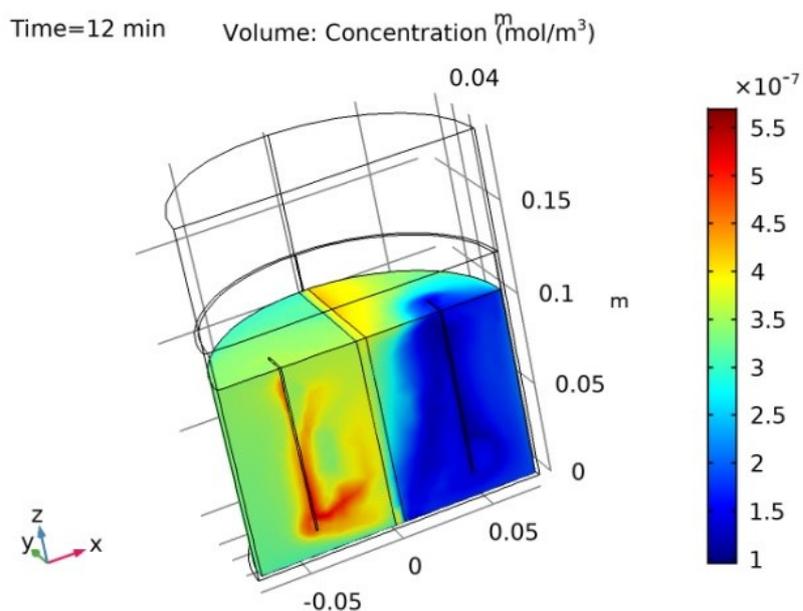


Рисунок 2 - Изображения образования NaOH через 12 минут работы активатора
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.67.2>

Образования газовой фракции хлора в анолите представлено на рисунке 3 и установлено следующее: к 16 минуте часть газа распространилась по всему анолиту и происходит его частичное растворение, при этом максимальные концентрации присутствует около анода со значением $0,035 \text{ моль/м}^3$.

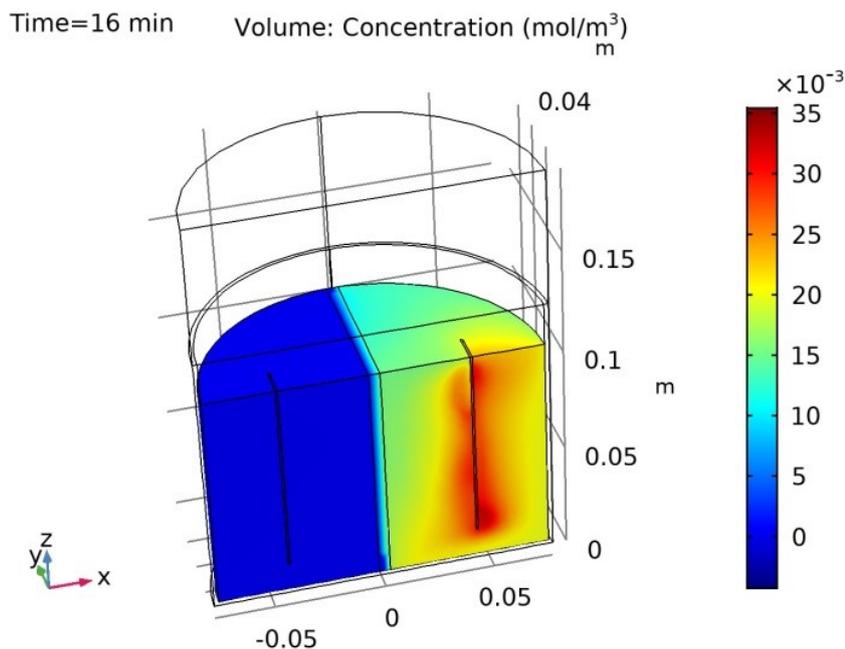


Рисунок 3 - Изображения газообразного хлора в анолите через 16 минут процесса
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.67.3>

В результате моделирования были получены изображения процессов образования вторичных хлорсодержащих соединений. Образование ClO_2 , ClO_3 , идет медленней, так как они появляются в результате последующих реакций и поэтому концентрации этих элементов имеют более низкие значения на несколько порядков по сравнению с HCl . Установлено, что максимальная концентрация хлорноватистой кислоты находится около анода через 16 минут работы активатора со значением $35 \cdot 10^{-7}$ моль/м³.

Результаты

Проведены экспериментальные исследования по подтверждению полученных данных в результате моделирования. Основываясь на теоретические и экспериментальные данные были построены соответствующие графики. В экспериментах в качестве электрического активатора использовался ионизатор воды «Ива». Измерение температуры, pH и концентрации ионов K, Ca, Cl, Na, Mg проводили с помощью анализатора воды «Эксперт-001» с набором необходимых электродов. На рисунке 4 представлены теоретические и экспериментальные графики изменения концентраций кальция и магния в анодной камере. Судя по графикам, совпадение довольно хорошее, особенно в конце периода активации. Наблюдается совпадение результатов моделирования и экспериментальных данных, о чем свидетельствуют графики изменения концентрации хлора в анодной камере (рис. 5, слева) и катодной (рис. 5, справа).

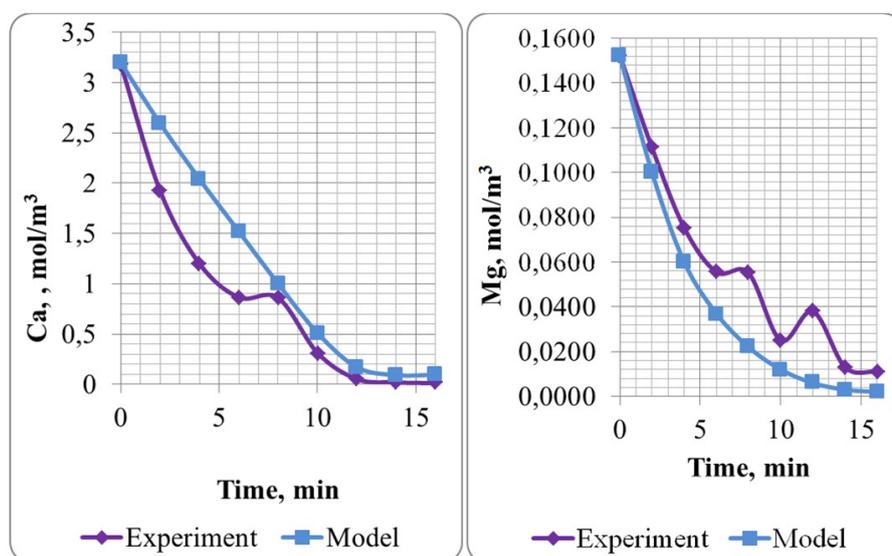


Рисунок 4 - Графики концентраций кальция (слева) и магния (справа) с течением времени
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.67.4>

Проводился эксперимент по обработке микробного раствора новым дезинфицирующим раствором. В чашках Петри были посеы тест-бактерий, которые потом обрабатывались анолитом с озоном. Результаты анализа экспериментальных данных показали, что инактивация большинства бактерий происходит уже при 10-ти минутной обработке анолитом и его 2-х минутном барботировании озоном. Максимальный результат получен при времени электроактивации 14 минут и барботировании озоном 3 минуты.

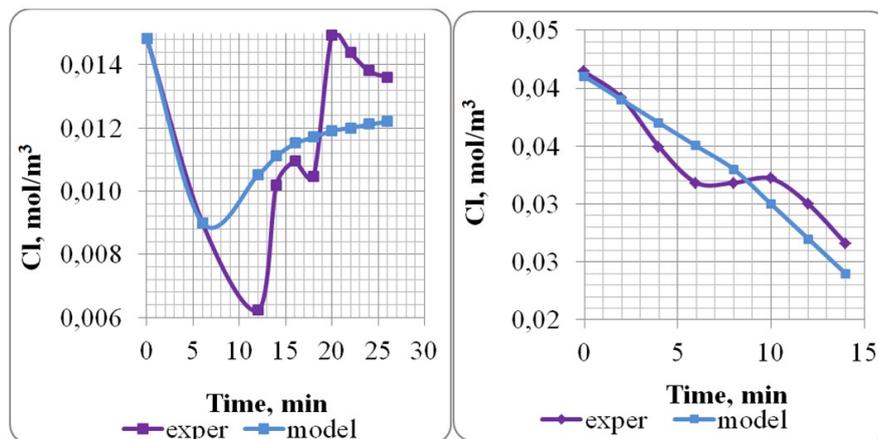


Рисунок 5 - Графики концентраций хлора в анолите (слева) и католите (справа)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.67.5>

Проведён регрессионный анализ полученных данных позволил получить эмпирическую модель в виде полинома второй степени:

$$y = 10973 - 1350x_1 - 2298x_2 + 123x_1x_2 + 42x_1^2 + 163x_2^2 \quad (3)$$

где y – количество жизнеспособных микроорганизмов, x_1 – время электроактивации, x_2 – время барботаж анолита озоном.

Данная модель позволяет обосновать область рациональных параметров электроактивации и барботаж анолита озоном для получения дезинфицирующего раствора, применяемого при обеззараживании оборудования. Используя полученную модель, можно установить границы рациональных параметров электрофизической обработки: время электроактивации 11 минут; время барботаж озоном 1,4 минуты (рис.6).

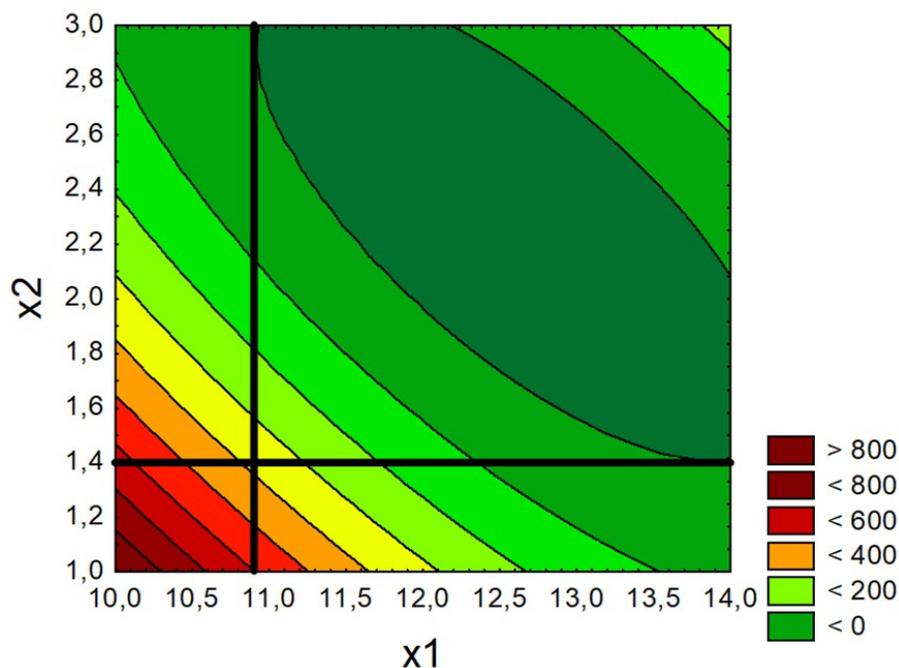


Рисунок 6 - Плоскость влияния параметров электроактивации и барботаж анолита озоном на поле КОЕ
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.140.67.6>

Центром зоны рациональных параметров являются координаты $x_1=12,5$ мин; $x_2=2,2$ мин.

Обсуждение

Работа электрического тока, диффузии и конвекции в межэлектродном пространстве электроактиватора приводит к следующему: переносу химических соединений из одной камеры в другую, образованию новых химических веществ, изменению температурного состояния растворов. Выявление закономерностей переносов и изменений концентраций отдельных веществ включены в электрохимическую модель, которую можно реализовать в специализированных программных комплексах. Математические модели процессов, протекающих в анодной и катодной камерах при переходе электрод-электролит с учетом уравнения Батлера-Фолмера дают возможность учесть окислительные и восстановительные процессы на электродах и их лучше тоже решать в программных продуктах. Транспорт химических соединений с использованием уравнения Навье-Стокса и закона Дарси также необходимо проводить с использованием компьютерных программ. Лучше всего все это делать в программных продуктах, которые позволяют решать одновременно несколько отдельных физических моделей, например в ПО Comsol.

Результаты моделирования и экспериментов показали, что используя рациональные режимы работы электроактиватора и озонатора можно получить максимальную эффективность дезинфицирующего раствора.

Заключение

Для моделирования основных физико-химических процессов в электроактиваторе применено ПО Comsol, что позволило совместно решить несколько математических моделей и получить необходимые результаты для реализации в реальном физическом оборудовании.

Анализ термограмм растворов активатора показал, что через 14 минут процесса, более нагретым становится анолит – превышение температуры составляет 6-8 градусов. Также наблюдался рост температурного перепада со временем, что можно объяснить изменением содержания солей и соответственно менялась электропроводность растворов.

При моделировании установлено, что к 6 минуте газ хлор большей частью находится за анодом с концентрацией до 0,075 моль/м³. Наблюдается к 16 минуте распространение газа по всему анолиту с частичным его растворением.

Увеличение концентраций HCl и ClO, в анолите идет до 0,001 моль/м³. Образование ClO₂, ClO₃, идет медленней, из-за вторичности образующих химических реакций.

Наблюдается диссоциация кислоты HClO, что приводит к образованию ClO, поэтому хлорноватистая кислота имеет низкую скорость образования и ее концентрация через 16 минут работы достигает значения равное 20·10⁻⁷ моль/м³. Учитывая образования соединений хлора, можно рекомендовать время работы данного активатора от 10 до 14 минут.

Моделирование и экспериментальные исследования физико-химических процессов в электроактиваторе при дальнейшем их сопоставлении показали следующее. Средние значения температур в установившемся периоде и в переходном процессе практически полностью согласуются – ошибка не превышает 3%. В активаторе изменения концентраций магния, натрия, кальция до 10 минуты идут отличием от модельных значений – ошибка может достигать 35%, но к концу 12 минуты переходные процессы заканчиваются, и наблюдается высокое совпадение – ошибка не более 5%. Усовершенствование модели образования хлорсодержащих элементов в анолите привело к хорошему совпадению с экспериментом – ошибка находится на уровне 8%.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Монастырский О. А. Влияние токсинообразующих видов грибов и микотоксинов на физиологические свойства зерна высокопродуктивных сортов пшеницы / О. А. Монастырский, Е. В. Кузнецова, Л. В. Свирелис и др. // Наука Кубани. — 2007. — № 3. — С. 27–32.
2. Бахир В. М. Эффективность и безопасность химических средств для дезинфекции, предстерилизационной очистки и стерилизации / В. М. Бахир, В. И. Вторенко, Б. И. Леонов и др. // Дезинфекционное дело. — 2003. — № 1. — С. 29–36.
3. Нугманов С. С. Влияние электроактивированной воды при поливе на состав и продуктивность листового салата / С. С. Нугманов, Ю. С. Иралиева, Т. С. Гриднева // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. — 2016. — № 4. — С. 32–35.
4. Dinc O. Comparative Evaluation of Disinfection Mechanism of Sodium Hypochlorite, Chlorine Dioxide and Electroactivated Water on Enterococcus Faecalis / O. Dinc, Z. Girgin Ersoy, D. Tunca et al. // Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food Science and Technology]. — 2018. — № 102(1) — P. 205–213.
5. Аронбаев Д. М. Вода «живая» и «мертвая». Новые факты об антиоксидантных и релаксационных характеристиках электроактивированной воды / Д. М. Аронбаев, С. Д. Аронбаев, Ч. А. Раимкулова и др. // Universum: химия и биология. — 2021. — № 2(80). — С. 26–31.

6. Прилуцкий В. И. Анолиты на рынке дезсредств: не ошибитесь в выборе! / В. И. Прилуцкий, В. И. Долгополов, Т. Б. Барабаш // Медицинский алфавит. Эпидемиология и гигиена. — 2013. — № 3. — С. 52–61.
7. Gluhchev G. Electrochemically Activated Water: Biophysical and Biological Effects of Anolyte and Catholyte Types of Water / G. Gluhchev, I. Ignatov, S. Karadzhev et al. // European Journal of Molecular Biotechnology. — 2015. — № 1(7). — P. 12–26.
8. Оськин С. В. Необходимость применения экологически чистых способов обработки пчелиных семей от существующих болезней / С. В. Оськин, Д. А. Овсянников // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. — 2014. — № 2(18). — С. 134–144.
9. Волошин С. П. Параметры и режимы комбинированной электроактиваторной установки для получения дезинфицирующих растворов в пчеловодстве: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / С. П. Волошин; Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина. — Краснодар, 2019. — 151 с.
10. Oskin S. Modeling of Process of Obtaining Activated Solutions in Electrolyzer for Their Use in Agriculture / S. Oskin, D. Tsokur, S. Voloshin // Engineering for Rural Development. — Jelgava, 2020. — P. 292–299.
11. Оськин С. В. Необходимость модернизации основных технологических процессов в пчеловодстве / С. В. Оськин, А. А. Лоза, С. М. Федак и др. // Сельский механизатор. — 2022. — № 12. — С. 6–7.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Monastyrsky O. A. Vliyanie toksinoobrazujushhih vidov gribov i mikotoksinov na fiziologicheskie svojstva zerna vysokoproduktivnyh sortov pshenicy [The Influence of Toxin-forming Species of Fungi and Mycotoxins on the Physiological Properties of Grain of Highly Productive Wheat Varieties] / O. A. Monastyrsky, E. V. Kuznetsova, L. V. Svirelis et al. // Nauka Kubani [Kuban Science]. — 2007. — No. 3. — P. 27–32. [in Russian]
2. Bakhir V. M. Jefferktivnost' i bezopasnost' himicheskikh sredstv dlja dezinfekcii, predsterilizacionnoj ochistki i sterilizacii [Efficiency and Safety of Chemicals for Disinfection, Pre-sterilization Cleaning and Sterilization] / V. M. Bakhir, V. I. Vtorenko, B. I. Leonov et al. // Dezinfekcionnoe delo [Disinfection Business]. — 2003. — No. 1. — P. 29–36. [in Russian]
3. Nugmanov S. S. Vliyanie jelektroaktivirovannoj vody pri polive na sostav i produktivnost' listovogo salata [The Effect of Electroactivated Water during Irrigation on the Composition and Productivity of Lettuce] / S. S. Nugmanov, Y. S. Iralieva, T. S. Gridneva // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii [Proceedings of the Samara State Agricultural Academy]. — 2016. — No. 4. — P. 32–35. [in Russian]
4. Dinc O. Comparative Evaluation of Disinfection Mechanism of Sodium Hypochlorite, Chlorine Dioxide and Electroactivated Water on Enterococcus Faecalis / O. Dinc, Z. Girgin Ersoy, D. Tunca et al. // Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food Science and Technology]. — 2018. — № 102(1) — P. 205–213.
5. Aronbayev D. M. Voda «zhivaja» i «mertvaja». Novye fakty ob antioksidantnyh i relaksacionnyh harakteristikah jelektroaktivirovannoj vody [Water "Live" and "Dead". New Facts about the Antioxidant and Relaxing Properties of Electroactivated Water] / D. M. Aronbayev, S. D. Aronbayev, Ch. A. Ramkulova et al. // Universum: himiya i biologiya [Chemistry and Biology]. — 2021. — № 2(80). — P. 26–31. [in Russian]
6. Prilutsky V. I. Anolity na rynke dezsredstv: ne oshibites' v vybore! [Anoliths on the Market of Disinfectants: Make no Mistake in Choosing!] / V. I. Prilutsky, V. I. Dolgoplov, T. B. Barabash // Medicinskij alfavit. Epidemiologiya i gigiena [The Medical Alphabet. Epidemiology and Hygiene]. — 2013. — No. 3. — P. 52–61. [in Russian]
7. Gluhchev G. Electrochemically Activated Water: Biophysical and Biological Effects of Anolyte and Catholyte Types of Water / G. Gluhchev, I. Ignatov, S. Karadzhev et al. // European Journal of Molecular Biotechnology. — 2015. — № 1(7). — P. 12–26.
8. Oskin S. V. Neobhodimost' primenenija jekologicheski chistyh sposobov obrabotki pchelinyh semej ot sushhestvujushhih boleznej [The Need to Use Environmentally Friendly Methods of Treating Bee Colonies from Existing Diseases] / S. V. Oskin, D. A. Ovsyannikov // CHrezvychajnye situacii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost' [Emergency Situations: Industrial and Environmental Safety]. — 2014. — № 2(18). — P. 134–144. [in Russian]
9. Voloshin S. P. Parametry i rezhimy kombinirovannoj jelektroaktivatornoj ustanovki dlja poluchenija dezinficirujushhih rastvorov v pchelovodstve [Parameters and Modes of a Combined Electroactivator Installation for Obtaining Disinfectant Solutions in Beekeeping]: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.20.02 / S. P. Voloshin; Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin. — Krasnodar, 2019. — 151 p. [in Russian]
10. Oskin S. Modeling of Process of Obtaining Activated Solutions in Electrolyzer for Their Use in Agriculture / S. Oskin, D. Tsokur, S. Voloshin // Engineering for Rural Development. — Jelgava, 2020. — P. 292–299.
11. Oskin S. V. Neobhodimost' modernizacii osnovnyh tehnologicheskikh processov v pchelovodstve [The Need to Modernize the Main Technological Processes in Beekeeping] / S. V. Oskin, A. A. Loza, S. M. Fedak et al. // Sel'skij mekhanizator [Rural Mechanizer]. — 2022. — No. 12. — P. 6–7. [in Russian]