

DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1007

EDN: YELFKB

УДК 663.12



Научная статья

ПОВЕДЕНИЕ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ И ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ВОДНОГО РАСТВОРА

*А.Г. Погорелов, Л.Г. Ипатова, А.И. Панаит,
М.А. Погорелова, А.А. Станкевич, О.А. Суворов*

Аннотация

Обоснование. Актуальной задачей в пищевой промышленности является интенсификация технологических процессов. Применение фракций электрохимически активированного водного раствора (ЭХАР), обладающих высокой физико-химической активностью, позволяет ускорить биохимические реакции.

Цель – показать влияние на рост и функциональную активность дрожжей фракций ЭХАР, на которых были приготовлены опара и пивное сусло.

Методы исследования: общепринятые методики оценки качества опары, сусла, сканирующая электронная микроскопия ультраструктуры поверхности дрожжевых клеток.

Результаты. В образцах на католите отмечали повышение титра клеток (в жидкой опаре на 71%, в густой опаре – в 2,7 раза), максимальную долю почкующихся клеток (~22%) и минимальное количество мертвых клеток (~3,5%), а также увеличение подъемной силы на ~21% по сравнению с контрольным образцом. Применение католита обеспечило более глубокое сбраживание пивного сусла и стимулировало бродильную активность клеток. В сусле на анолите снижалась бродильная активность дрожжей, медленнее росла биомасса и увеличивалась доля мертвых клеток. На поверхности клеток наблюдаются множественные тонкие трещины, свидетельствующие о повреждении клеточной стенки. Выявленные нарушения целостности клетки согласуются с описанными выше данными об угнетении развития дрожжевых клеток в пивном сусле на основе анолита.

Закключение. Введение католита в рецептуру позволяет модифицировать способ приготовления опары в технологии производства хлеба, реактивировать

сухие дрожжи перед их использованием, восстанавливать активность дрожжей после их длительного хранения. Выявленные закономерности действия фракций ЭХАР на подъемную силу дрожжей в опаре и на экстрактивность сусле, могут быть использованы для безреагентного регулирования брожения.

Ключевые слова: анолит; католит; дрожжи; брожение; опара; сусло

Для цитирования. Погорелов А.Г., Ипатова Л.Г., Панайт А.И., Погорелова М.А., Станкевич А.А., Суворов О.А. Поведение хлебопекарных и пивных дрожжей в технологических условиях при использовании электрохимически активированного водного раствора // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16, №6. С. 490-XXX. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1007

Original article

BEHAVIOR OF BAKER'S AND BREWER'S YEAST UNDER TECHNOLOGICAL CONDITIONS USING ELECTROCHEMICALLY ACTIVATED AQUEOUS SOLUTION

*A.G. Pogorelov, L.G. Ipatova, A.I. Panait,
M.A. Pogorelova, A.A. Stankevich, O.A. Suvorov*

Abstract

Background. Intensification of technological processes is an urgent task in the food industry. The use of fractions of electrochemically activated aqueous solution (ECAS), possessing high physical and chemical activity, allows to accelerate biochemical reactions.

Purpose. The aim is to show the effect on the growth and functional activity of yeast of the ECAS fractions on which the sponge and beer wort were prepared.

Methods: common methods for assessing quality of sponge, wort, scanning electron microscopy of yeast cell surface ultrastructure.

Results. In the samples on catholyte, an increase in cell titre (in liquid sponge by 71%, in thick sponge by 2.7 times), a maximum proportion of budding cells (~22%) and a minimum number of dead cells (~3.5%), as well as an increase in lifting force by ~21% compared to the control sample were observed. The application of catholyte provided deeper digestion of beer wort and stimulated fermentative activity of cells. In the wort on anolyte the fermentation activity of yeast decreased, biomass grew slower and the proportion of dead cells increased. Multiple thin cracks were observed on the surface of cells, indicating damage to the cell wall. The detected cell

integrity violations are consistent with the above described data on the inhibition of yeast cell development in anolyte-based beer wort.

Conclusion. The introduction of catholyte into the formulation allows to modify the method of preparation of sponge in bread production technology, to reactivate dry yeast before its use, to restore the activity of yeast after its long-term storage. The revealed regularities of the effect of ECAS fractions on the yeast lifting power in the sponge and on the extractivity of the wort can be used for agent-free regulation of the process.

Keywords: anolyte; catholyte; yeast; fermentation; sponge; wort

For citation. Pogorelov A.G., Ipatova L.G., Panait A.I., Pogorelova M.A., Stankevich A.A., Suvorov O.A. Behavior of baker's and brewer's yeast under technological conditions using electrochemically activated aqueous solution. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 2024, vol. 16, no. 6, pp. 490-XXX. DOI: 10.12731/2658-6649-2024-16-6-1007

Введение

Существенным показателем, определяющим технологические свойства воды, является окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), который может быть изменен в широком диапазоне методом диафрагменного электролиза [1-4]. В результате получаем окисленную (анолит) и восстановленную (католит) фракции электрохимически активированного водного раствора (ЭХАР). Эти метастабильные фракции обладают аномальными свойствами [5; 6]. Для анолита значение ОВП увеличивается до +800 мВ притом, что показатель pH сдвигается в кислую сторону, а в растворе снижается содержание водорода [4; 7-11]. Наоборот, католит приобретает щелочную реакцию, а значение ОВП отрицательные значения, при этом в нем снижается концентрация кислорода [5; 12].

В пищевой промышленности роль ЭХАР заключается в безреагентном управлении свойствами пищевых систем, включая экстракцию, обеззараживание, окисление и восстановление, изомеризацию [13-21], а также биокатализ [2; 22-24]. Вода – важный ингредиент теста, который оказывает влияние на свойства целевого продукта. Например, в результате действия ЭХАР изменились склеивающие свойства и термические характеристики, кулинарные и текстурные показатели рисовой лапши [25]. О полимеризации белков, вызванной обработкой слабокислым анолитом, свидетельствовали профили молекулярно-массового распределения белков и изменения морфологии лапши [26]. Меняя окислительно-восстановительные характеристики полуфабрикатов, свойства броидильной микрофлоры, реологиче-

ские характеристики теста и качество изделий, фракции ЭХАР способны играть значимую роль в хлебопечении [20; 27-29]. Производство напитков рассматривают как одну из наиболее перспективных областей применения ЭХАР [30]. Для пивоварения актуальна задача сокращения времени получения сусла, а также повышения бродильной активности дрожжей. Одним из способов её решения может стать применение фракций ЭХАР, в результате чего меняется кинетика биохимических реакций, например, за счет более глубокого гидролиза полисахаридов и белков [31; 32].

Эмпирические наблюдения применения ЭХАР в хлебопечении и пивоварении демонстрируют перспективность этого направления и подтверждают необходимость углубленных исследований эффектов и механизмов действия анолита и католита в пищевых технологиях. Особого внимания требует изучение реакции дрожжей - живых организмов, поведение которых вносит наибольшую неопределенность в конечный результат.

Для сложных многокомпонентных биологических матриц, которыми являются опара или сусло, присутствие в них дрожжевых клеток создает характерные органолептические признаки конечного продукта. Клеточные мишени остаются наиболее чувствительными к действию ЭХАР. В этом смысле дрожжи представляют собой естественный тест-объект, быстро реагирующий на технологические инновации.

Цель исследования

Цель работы состояла в том, чтобы в лабораторных экспериментах оценить реакцию дрожжевых клеток на фракции ЭХАР, для чего изучали хлебопекарные дрожжи в условиях густой и жидкой опары, а также пивные дрожжи в пивном сусле.

Материалы и методы исследования

- Фракции ЭХАР анолит (pH 2.9, ОВП +700 мВ) и католит (pH 11.2, ОВП -400 мВ), получали электролизом питьевой воды из трубопровода (pH 7.2, ОВП +340 мВ), служившей контролем во всех экспериментах, для чего использовали электроактиватор АП-1 исполнение 03М («Акваприбор», Беларусь).
- Опару готовили при брожении 60 мин и температуре 30°C. Влажность (70%) образцов в начале и по завершении брожения не менялась. Для жидкой опары брали дрожжи хлебопекарные прессованные «Люкс Экстра» (ООО «Саф-Нева», Россия). В случае густой опары использовали дрожжи сухие быстродействующие «Саф-Момент» (ООО «Саф-Нева, Россия). Везде применяли муку пшенич-

ную хлебопекарную высшего сорта «Макфа» (АО «Макфа», Россия) и сахар белый кристаллический (ООО «ГК «Русагро», Россия).

- Пивное сусло готовили на основе концентрата (АО «Таткрахмалпатока», Россия), который разводили в соотношении 1:10 водой или фракциями ЭХАР. Для брожения использовали дрожжи пивные универсальные сухие «А-01 ТМ Drinkit» верхового брожения (ООО «ДРИНКИТ», Россия) и дрожжи пивные жидкие «CraftLab Fertech L002» (ООО «Фертек», Россия).

Методы исследования

Кислотность жидкой опары определяли по ГОСТ 5670-96.

Кислотность пива определяли по ГОСТ 12788-87.

Сухие вещества используемых сред ГОСТ 12788-87 определяли путем высушивания до постоянной массы навески в сушильном шкафу при 105°C по ГОСТ 31640-2012.

Объемную долю спирта в пивном сусле определяли по ГОСТ 12787-2021.

Подъемную силу дрожжей измеряли по ГОСТ Р 54731-2011 по времени, которое необходимо для всплытия шарика теста, помещенного на дно стакана с водой.

Концентрацию дрожжевых клеток определяли в соответствии с ОФС.1.7.2.0008.15 методом прямого подсчета в камере Горяева. Под микроскопом «Альтами» (Россия) производили подсчет клеток в 5 горизонтальных и 15 диагональных больших квадратах. Также подсчитывали число почкующихся клеток. Почкой считали клетку, которая по размеру не превосходила 1/2 материнской клетки. Клетку с почкой, размер которой был меньше 1/3 материнской, считали за одну. Для определения доли мертвых клеток к анализируемой пробе на предметном стекле добавляют 2-3 капли метиленовой сини, перемешивают и накрывают покровным стеклом. Далее осуществляют подсчет мертвых клеток методом прямого подсчета в камере Горяева.

Морфологические исследования проводили методом сканирующей электронной микроскопии (SEM). Препарат для SEM готовили следующим способом. Пивное сусло после 8 суток брожения тщательно взбалтывали, из полученной суспензии отбирали 4 мл в пробирку, куда добавляли 400 мкл фиксатора (25% глутаровый альдегид). После фиксации в течение суток при комнатной температуре пробирку с образцом центрифугировали (800 g). Чтобы отмыть фиксатор, супернатант аккуратно отбирали, а к осадку добавляли 4 мл дистиллированной воды. Суспензию повторно

центрифугировали (800 g), затем отбирали воду над осадком, а в пробирку добавляли 2 мл 1% раствора OsO_4 в дистиллированной воде для второй фиксации (24 часа при комнатной температуре). Далее, осаждая на каждом этапе дрожжевые клетки, образец отмывали от фиксатора в воде с последующей дегидратацией в батарее этанола возрастающей концентрации: 50%, 75%, 80%, 90% и 98%. Для удаления спирта образцы переносили в HMDS (гексаметилдисилазан), после чего наносили каплями на поверхность держателя микроскопа и сушили в потоке инертного газа (N_2). По такой же методике готовили препарат хлебопекарных дрожжей в составе жидкой опары. На готовый препарат напыляли пленку (20 нм) платины в установке JFC-1600 (JEOL, Япония). Тонкий рельеф поверхности изучали в сканирующем электронном микроскопе JSM-6390A (JEOL, Япония), используя режим вторичных электронов, при ускоряющем напряжении 20 кВ.

Результаты исследования и обсуждение

Хлебопекарные дрожжи

Исследовали эффект фракций ЭХАР на свойства опары жидкой на основе хлебопекарных дрожжей прессованных и опары густой на основе хлебопекарных дрожжей сухих быстродействующих. В таблице 1 приведены сравнительные данные каждого вида опары, приготовленной с использованием водопроводной воды (контроль), католита и анолита.

Таблица 1.

Сравнительная характеристика жидкой и густой опары, содержащей прессованные или сухие дрожжи, соответственно, приготовленной на основе воды, католита, анолита

Наименование параметра	Тип опары	Вода (контроль)		Католит		Анолит	
		начало	60 мин	начало	60 мин	начало	60 мин
Кислотность, см ³ 0,1 моль/дм ³ NaOH на 100 г опары	жидкая	0,70±0,07	1,14±0,11	0,66±0,06	0,96±0,09	0,68±0,06	1,18±0,11
	густая	0,72±0,07	1,12±0,11	0,63±0,05	0,89±0,09	0,64±0,06	1,19±0,12
Время до всплытия шарика теста, мин	жидкая	59,0±1,7		47,4±1,4		56,6±1,7	
	густая	55,7±1,7		43,6±1,3		52,1±1,5	

Показатель кислотности свидетельствует о накоплении органических кислот в процессе брожения и характеризует готовность полуфабриката. В начале брожения для контрольных и опытных образцов жидкой опары характерны близкие значения кислотности (Табл. 1). После 60 минут брожения значение кислотности жидкой опары, приготовленной на основе

воды, было выше, чем в образце на католите, и значительно не отличалось от образца на анолите. Такая же тенденция наблюдается для образцов густой опары. Учитывая погрешность измерения, для образцов на воде и анолите по завершении брожения показатели кислотности образцов жидкой и густой опары достоверно не отличались.

Время всплывания шарика теста характеризует подъемную силу и, опосредовано, способность дрожжей сбраживать глюкозу, фруктозу, сахарозу. Другими словами, чем эффективнее дрожжевой препарат, тем быстрее всплывает образец. По этому критерию применение католита интенсифицирует активность брожения в рецептуре обоих видов опары (табл.1) и одновременно понижает в них кислотность. Изучение морфологических характеристик проводили на образцах жидкой опары, где консистенция препарата позволяла наблюдать клетки в образце (рис.1).

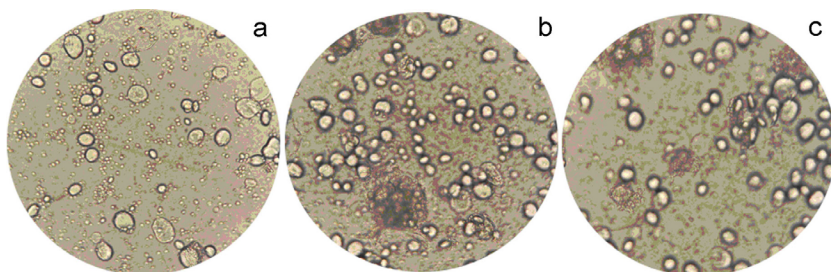


Рис. 1. Обзорный вид (x400) в поле светового микроскопа дрожжевых клеток в жидкой опаре на основе прессованных хлебопекарных дрожжей после 60 минут брожения, где: (а) опара приготовлена на воде, (b) опара приготовлена на католите, (с) опара приготовлена на анолите.

Визуально клетки выглядят крупнее в образцах опары, приготовленной на воде (рис.1а), но количество дрожжей больше в образцах опары на католите (рис.1b) и на анолите (рис.1с), где наблюдается значительное количество почкующихся клеток. Сравнительные количественные данные, полученные методом подсчета в камере Горяева параметров клеточной популяции дрожжей в опаре, приведены на рисунке 2.

Видно (рис.2а), что в обоих видах опары католит оказал стимулирующее действие на рост дрожжевых клеток. Особенно эффект проявляется для густой опары, где через 60 минут брожения прирост дрожжевых клеток в образце на католите в 2,7 раз выше, чем в контроле. Этому факту соответствуют остальные количественные результаты, которые указывают на то, что в опаре на католите присутствует максимальная

доля почкующихся клеток (рис.2b) и минимальное количество мертвых клеток (рис.2c).

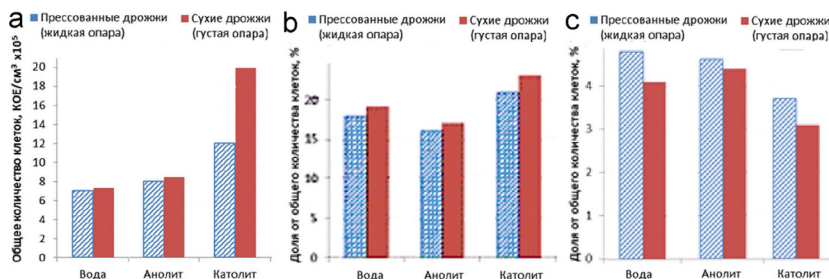


Рис. 2. Параметры клеточной популяции дрожжей жидкой и густой опары после 60 минут брожения. Данные получены подсчетом в камере Горяева, где: (a) – общее количество клеток, (b) – количество почкующихся клеток, (c) – количество мертвых клеток

Если сравнивать жидкую и густую опару, то во втором случае количество почкующихся клеток больше, а количество мертвых клеток ниже. Таким образом, показано стимулирующее действие католита, которое более выражено для сухих быстродействующих дрожжей. Это заключение согласуется с результатами изучения кислотности и времени всплытия (Табл.1). Такой результат, возможно, обусловлен относительно высокой диффузией восстановленной фракции ЭХАР в сухом дрожжевом препарате, что приводит к более быстрой (ре)гидратации дрожжевых клеток и, следовательно, восстановлению их активности. Анолит в составе обоих типов опары не оказывает значимого модифицирующего эффекта. Изучение морфологических признаков и тонкого рельефа поверхности дрожжей в составе жидкой опары проводили методом сканирующей электронной микроскопии (Рис.3).

На микрофотографиях (рис.3) образцов жидкой опары видны клетки дрожжей и крупные зерна крахмала. На обзорном плане при увеличении $\times 800, \times 100$ крат видны частицы теста. Визуально, значимых различий между хлебопекарными дрожжами в составе жидкой опары, приготовленной на воде (контроль) или на фракциях ЭХАР, не обнаружено. Клетки сохраняют круглую или овальную форму, поверхность многих клеток покрыта наночастицами теста, каких-либо механических повреждений не наблюдается.

Суммируя, католит оказывает стимулирующее действие на рост и активность хлебопекарных дрожжей, которые находятся как в прессованном, так и в сухом виде.

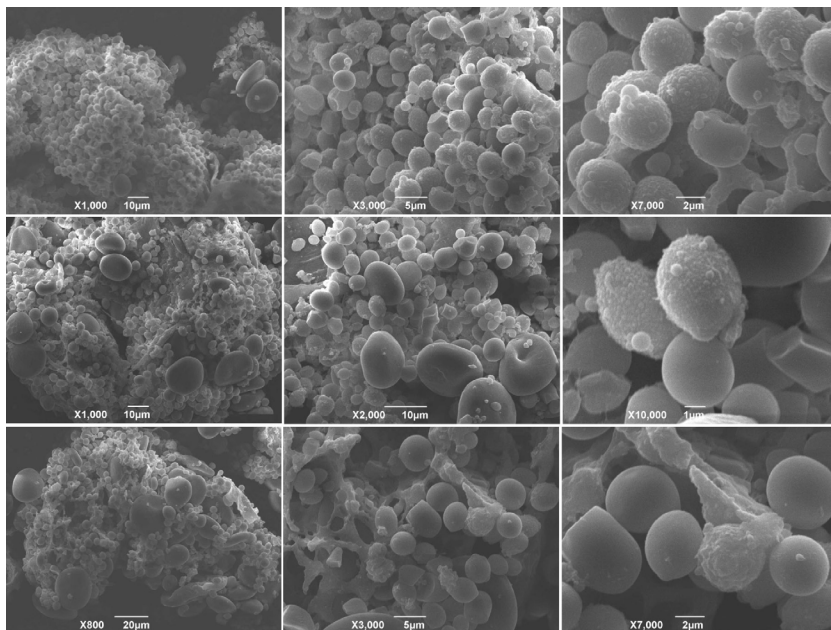


Рис. 3. Микрофотографии образцов жидкой опары. Изображение получено посредством сканирующей электронной микроскопии в режиме вторичных электронов, где: верхний ряд – опара на воде; средний ряд – опара на анолите; нижний ряд – опара на католите.

Для обоих типов опары на католите характерны высокая подъемная сила, увеличение титра клеток, их более высокая жизнеспособность, о чем свидетельствует рост числа почкующихся клеток и сниженное количество мертвых клеток. Выявленный эффект может найти практическое применение в хлебопечении, например, для ускорения приготовления опары за счет активирования дрожжей. Также замена воды на католит в рецептуре приготовления опары будет полезна для восстановления активности дрожжей после их длительного хранения.

Пивные дрожжи

Концентрат пивного сусла разбавляли в отношении 1:10 водопроводной питьевой водой (контроль), анолитом или католитом. Пивные дрожжи универсальные сухие верхового брожения или пивные жидкие дрожжи вносили из расчета 0,6 г/дм³. Брожение сусла проходило при температуре

25°C притом, что ежедневно в течение 7 суток отбирали пробы для измерения кислотности (pH), содержания сухих веществ (СВ) и концентрации наработанного этилового спирта, а также для определения количества дрожжевых клеток и процентного отношения мёртвых клеток. Кривые на рисунке 4 показывают изменение величины pH суслу в течение брожения.

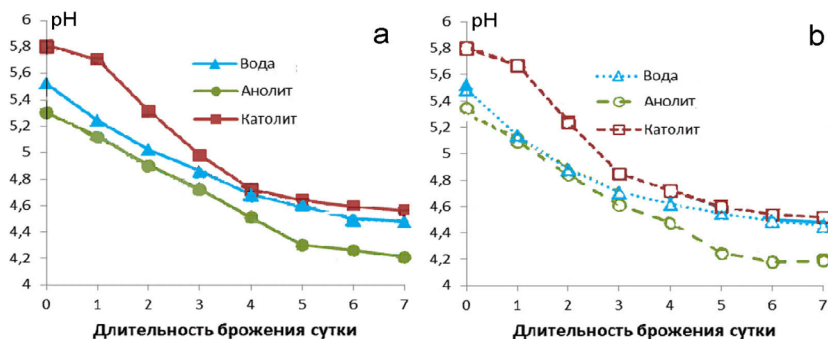


Рис. 4. Изменение кислотности в течение брожения суслу, приготовленного на воде, анолите или католите, где: (а) суло с добавкой сухих дрожжей, (б) суло с добавкой жидких дрожжей

Значение pH суслу в течение брожения уменьшалось для всех образцов (рис.4). Отметим, концентрат суслу ведет себя как буферная смесь, которая при добавлении к воде в начальный момент стабилизировала pH раствора на уровне 5,5 единиц. Для раствора суслу в католите этот показатель был выше на 0,3 единицы, а в случае раствора в анолите на 0,2 единицы ниже, чем для водного раствора суслу. При одинаковом начальном разбавлении суслу, степень его сбраживания при разных условиях можно сравнить по остаточному содержанию СВ (рис.5).

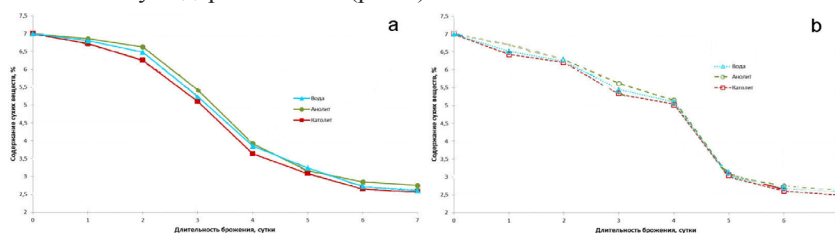


Рис. 5. Изменение во время брожения содержания сухих веществ в пивном сусле, приготовленном на воде, анолите или католите с использованием пивных дрожжей, где: (а) дрожжи универсальные сухие верхового брожения, (б) дрожжи жидкие

Применение фракций ЭХАР не привело к значимому изменению кинетики или времени сбраживания (рис.5), когда по завершении эксперимента в каждом образце содержание СВ уменьшилось до значения 2,5%. Наблюдается только различие в форме кривых сбраживания для группы с добавкой сухих дрожжей (рис.5a) по сравнению с группой с добавкой жидких дрожжей (рис.5b). Показателем бродительной активности дрожжей является степень сбраживания, характеризующаяся отношением массы сброженного СВ к начальной массе СВ в сусле (выр.1).

$$V(\%) = 100 \cdot (E - e) / E \quad (1)$$

Где: V - степень сбраживания (%), E - масса СВ в пивном сусле в начале сбраживания, e - содержание СВ после сбраживания.

Из выражения 1 следует, что уровень 2,5%, до которого снижается содержание СВ в сусле на седьмые сутки брожения, соответствует величине степени сбраживания ~64%. Притом, что этот показатель остается постоянным для всех исследуемых образцов, содержание этилового спирта в них значимо отличается (рис.6).

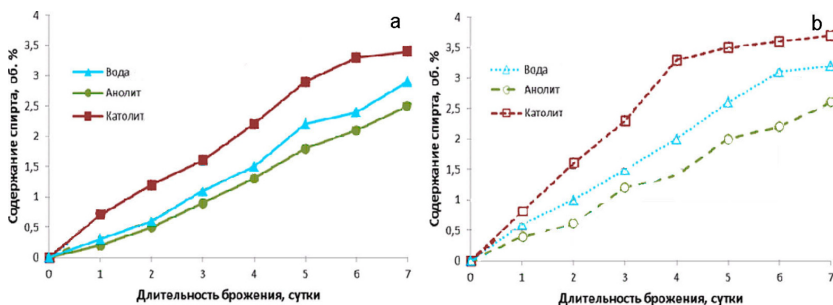


Рис. 6. Изменение во время брожения объемной концентрации (об. %) этилового спирта в пивном сусле, приготовленном на воде, анолите или католите с использованием пивных дрожжей, где: (a) дрожжи универсальные сухие верхового брожения, (b) дрожжи жидкие

Видно (рис.6), что наименьшую активность дрожжевых препаратов регистрируют для пивного сула, приготовленного на анолите. Для обоих типов дрожжей содержание этилового спирта в сусле на воде меньше, чем для образца на католите, где на седьмые сутки брожения объемная концентрация этанола в пивном сусле достигла значения 3,3% при использовании сухих дрожжей (рис.6a) и 3,6% для жидких дрожжей (рис.6b). Таким образом, как и в случае опары, для пивного сула брожение становится

более эффективным, когда водную фазу представляет католит. Другими словами, в образцах на основе католита наблюдается интенсификация процесса брожения пивного сусла. Такой эффект можно объяснить псевдоферментативной способностью восстановленной фракции ЭХАР, которая направлена на расщепление растительных полисахаридов или олигосахаров (Pogorelov et al., 2022). За счет амилолитической активности, католит гидролизует высшие сахара, содержащиеся в сусле, увеличивая концентрацию моносахаров, что способствует наработке больших объемов этанола при постоянной степени сбраживания исследуемых образцов пивного сусла (рис.5). Возможно, на эффективность дрожжевых препаратов также влияет сдвиг pH в щелочную сторону, который регистрируют в сусле, приготовленном на католите (рис.4).

Нельзя исключать влияния различий в количественных параметрах культур дрожжевых клеток (рис.7).

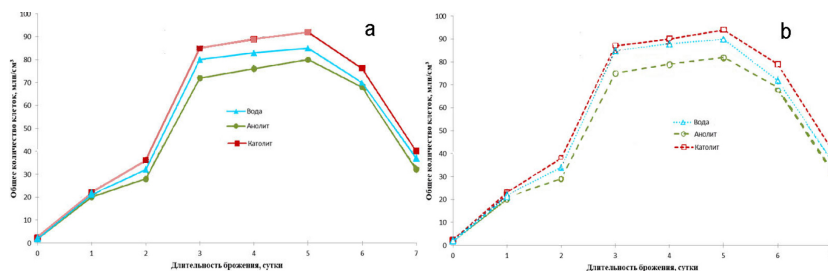


Рис. 7. Изменение во время брожения концентрации дрожжевых клеток в пивном сусле, приготовленном на воде, анолите или католите с использованием пивных дрожжей, где: (а) дрожжи универсальные сухие верхового брожения, (б) дрожжи жидкие

Анализ результатов (рис.7) показывает то, что для всех рассматриваемых вариантов оптимальная ситуация по критерию количества клеток наблюдается в районе 5 суток брожения, но культуры дрожжевых клеток ведут себя по-разному в зависимости от водной среды, на которой приготовлено пивное сусло. Анолит ингибирует пролиферативную активность, напротив, католит способствует делению дрожжей (рис.7а-б). Такая тенденция соответствует стимулирующему эффекту восстановленной фракции ЭХАР, показанному выше для опары (табл.1, рис.1) и пивного сусла (рис.6). Еще одним параметром жизнеспособности клеточной культуры является содержание мертвых дрожжевых клеток (рис.8).

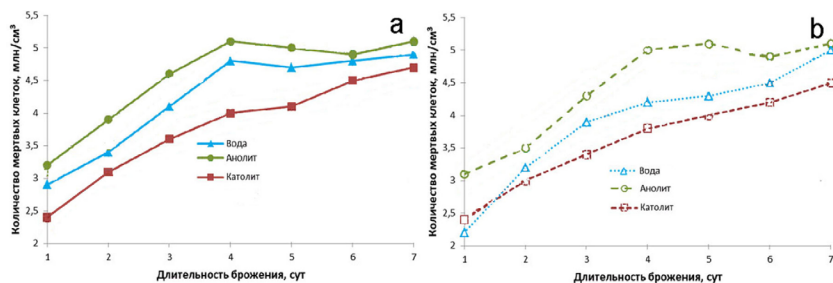


Рис. 8. Кривая накопления во время брожения мертвых дрожжевых клеток в пивном сусле, приготовленном на воде, анолите или католите с использованием пивных дрожжей, где: (а) дрожжи универсальные сухие верхового брожения, (б) дрожжи жидкие

Сравнительный анализ данных (рис.8) показывает, что в образцах пивного сусла, приготовленного на католите, отмечено наименьшее количество мертвых клеток, чем в сусле на основе воды или анолита. Для обоих типов дрожжей особенно угнетающее действие на популяцию дрожжевых клеток оказывает среда анолита (рис.8а-б). Учитывая то, что активным фактором процесса брожения является отдельная дрожжевая клетка, провели изучение тонкой структуры клеточной поверхности (рис.9).

На микрофотографиях (рис.9) показаны клетки пивных дрожжей, выделенные из образцов сброженного пивного сусла, приготовленного на основе воды, католита и анолита. Видно, что клетки, в основном, сохраняют овальную форму, наблюдаются почкующиеся клетки, на поверхности отдельных клеток заметны почечные рубцы. Клеточная поверхность покрыта наночастицами, возможно, пивного сусла или продуктов автолиза. На поверхности дрожжей, выделенных из сусла на анолите, при высоком увеличении заметны множественные тонкие трещины, свидетельствующие о повреждении клеточной стенки. Данный фактор может быть причиной выхода из клетки ферментов анаэробного гликолиза, которые локализируются в кортикальной зоне цитоплазмы, и, как следствие, замедления броидильной активности. И это согласуется с описанными выше данными об угнетении развития дрожжевых клеток в пивном сусле на основе анолита.

В части сканирующей электронной микроскопии исследования выполнены, используя приборную базу ЦКП «Структурно-функциональные исследования биосистем» при ФГБУН ИТЭБ РАН (г. Пущино).

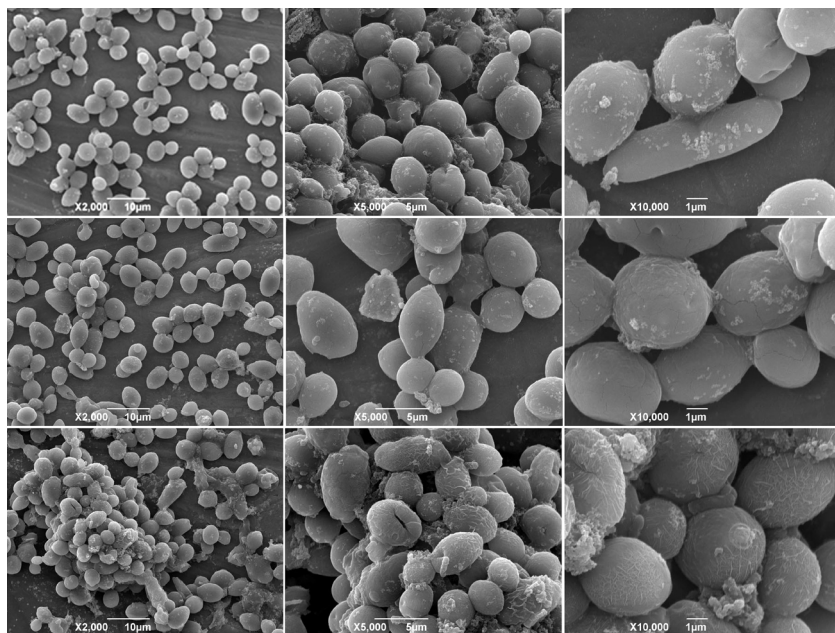


Рис. 9. Микрофотографии пивных дрожжевых клеток, выделенных из суслу после 7 суток брожения. Изображение получены методом сканирующей электронной микроскопии в режиме вторичных электронов, где: верхний ряд - дрожжи из суслу, приготовленного на воде; средний ряд - дрожжи из суслу, приготовленного на анолите; нижний ряд - дрожжи из суслу, приготовленного на католите.

Заключение

Полученные данные указывают на то, что преобразование водной составляющей питательной среды (опара, суслу) посредством использования фракций ЭХАР служит стрессовым фактором для клеток хлебопекарных и пивных дрожжей. При этом наблюдается разнонаправленная реакция дрожжей, вызванная применением католита или анолита. По итогам выполненного исследования на примере хлебопекарных и пивных дрожжей выявлены следующие закономерности:

- Католит, как метастабильная водная среда с повышенной восстановительной активностью, оказывает стимулирующее действие на рост и жизнеспособность хлебопекарных дрожжей. В образцах жидкой и густой опары, приготовленных на католите, общее количество

дрожжевых клеток превышало этот показатель в опаре на воде. При этом жизнеспособность клеток была выше, о чем свидетельствует рост числа почкующихся клеток и сниженное количество мёртвых клеток. Выявленный эффект может найти практическое применение в практике хлебопечения, например, для восстановления активности дрожжей или ускорения этапа приготовления опары. Для пивных дрожжей также характерны описанные эффекты. Показано, что католит представляет собой благоприятную среду, поддерживая более интенсивный процесс брожения пивного сусла. Этот фактор может способствовать сокращению этапа главного брожения в технологии пивоварения.

- Анолит – метастабильная окисленная фракция водного раствора, наоборот, ингибирует процесс брожения, как в составе хлебопекарной опары так и в среде пивного сусла. Замена воды на анолит замедляет рост клеток, снижает интенсивность брожения, ингибирует преобразование сбраживаемых углеводов в спирт пивными дрожжами.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 20-16-00019, <https://rscf.ru/project/20-16-00019/>

Funding. The research was supported by Russian Science Foundation grant № 20-16-00019, <https://rscf.ru/en/project/20-16-00019/>

Список литературы

1. Bakhir V.M. Universal electrochemical technology for environmental protection / V.M. Bakhir, A.G. Pogorelov // International journal of pharmaceutical research and allied sciences. 2018. Vol. 7(1). P. 41–57.
2. Ding T. Electrolyzed water in food: fundamentals and applications / T. Ding, D. H. Oh, D. Liu. Singapore: Springer, 2019. 274 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3807-6>
3. Johansson B. Functional water-in promotion of health beneficial effects and prevention of disease // Internal medicine review. 2017. Vol. 3(2). Article 321. <http://dx.doi.org/10.18103/imr.v3i2.321>
4. Ramírez Orejel, J. C. Applications of electrolyzed water as a sanitizer in the food and animal-by products industry / J. C. Ramírez Orejel, J. A. Cano-Buendía // Processes. 2020. Vol. 8(5). Article 534. <https://doi.org/10.3390/pr8050534>

5. Ignatov I. Preparation of electrochemically activated water solutions (catholyte / anolyte) and studying their physical-chemical properties / I. Ignatov, G. Gluhchev, S. Karadzhov, G. Miloshev, N. Ivanov, O. Mosin // *Journal of medicine, physiology and biophysics*. 2015. Vol. 13. P. 1-21.
6. Chen B.-K. Electrolyzed water and its pharmacological activities: a mini-review / B.-K. Chen, C.-K. Wang // *Molecules*. 2022. Vol. 27 (4). Article 1222. <https://doi.org/10.3390/molecules27041222>
7. Ignatov I. Dynamic nano clusters of water on waters catholyte and anolyte: electrolysis with nano membranes / I. Ignatov, G. Gluhchev, S. Karadzhov, I. Yaneva, N. Valcheva, G. Dinkov et al. // *Physical science international journal*. 2020. Vol. 24(1). P. 46–54. <http://dx.doi.org/10.9734/psij/2020/v24i130173>
8. Ignatov I. Structuring of water clusters depending on the energy of hydrogen bonds in electrochemically activated waters Anolyte and Catholyte / I. Ignatov, G. Gluhchev, N. Neshev, D. Mehandjiev // *Bulgarian chemical communications*. 2021. Vol. 53(2). P. 234-239. <https://doi.org/10.34049/bcc.53.2.5376>
9. Jiménez-Pichardo R. Innovative control of biofilms on stainless steel surfaces using electrolyzed water in the dairy industry / R. Jiménez-Pichardo, I. Hernández-Martínez, C. Regalado-González, J. Santos-Cruz, Y. Meas-Vong, M.d.C. Wacher-Rodarte, J. Carrillo-Reyes, I. Sánchez-Ortega, B.E. García-Almendárez // *Foods*. 2021. Vol. 10(1). Article 103. <https://doi.org/10.3390/foods10010103>
10. Rebezov M. Application of electrolyzed water in the food industry: a review / M. Rebezov, K. Saeed, A. Khaliq, S.J.U. Rahman, N. Sameed, A. Semenova, M. Khayrullin, A. Dydykin, Y. Abramov, M. Thiruvengadam, M.A. Shariati, S.P. Bangar, J.M. Lorenzo // *Applied sciences*. 2022. Vol. 12(13). Article 6639. <https://doi.org/10.3390/app12136639>
11. Yan P. Stability and Antibiofilm Efficiency of Slightly Acidic Electrolyzed Water Against Mixed-Species of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* / P. Yan, R. Chelliah, K.-h. Jo, V. Selvakumar, X. Chen, H.-y. Jo, D.H. Oh // *Frontiers in microbiology*. 2022. Vol. 13. Article 865918. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.865918>
12. Vassileva P. Results from the research of water catholyte with nascent (atomic) hydrogen / P. Vassileva, D. Voykova, I. Ignatov, S. Karadzhov, S. Gluhchev, N. Ivanov, D. Mehandjiev // *Journal of medicine, physiology and biophysics*. 2019. Vol. 52. P. 7-11. <https://doi.org/10.7176/JMPB/52-02>.
13. Храпенков С.Н. Применение ЭХА растворов и ферментных препаратов для экстракции хмеля / С.Н. Храпенков, М.В. Гернет, Д.А. Свиридов, К.В. Кобелев, В.М. Бахир // *Пиво и напитки*. 2004. № 2. С. 32–33.
14. Гернет М.В. Влияние физико-химических методов обработки растительного сырья на извлечение фенольных соединений / М.В. Гернет, И.Н.

- Грибкова // Пищевая промышленность. 2020. № 7. С. 44–47. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10075>
15. Gorbacheva M.V. Electrochemical activation as a fat rendering technology / M.V. Gorbacheva, V.E. Tarasov, S.A. Kalmanovich, A.I. Sapozhnikova // Foods and raw materials. 2021. Vol. 9(1). P. 32–42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-32-42>
 16. Kobelev K.V. Study of brewer's spent grain environmentally friendly processing ways / K.V. Kobelev, I.N. Gribkova, L.N. Kharlamova, A.V. Danilyan, M.A. Zakharov, I.V. Lazareva, V.I. Kozlov, O.A. Borisenko // Molecules. 2023. Vol. 28. Article 4553. <https://doi.org/10.3390/molecules28114553>
 17. Cayemitte P. E. Study of the impacts of electro-activated solutions of calcium lactate, calcium ascorbate and their equimolar mixture combined with moderate heat treatments on the spores of *Bacillus cereus* ATCC 14579 under model conditions and in fresh salmon / P. E. Cayemitte, N. Gerliani, P. Raymond, M. Aider // International journal of food microbiology. 2021. Vol. 358. Article 109285. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109285>
 18. Qin M. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbiota and flour characteristics / M. Qin, Y. Fu, N. Li, Y. Zhao, B. Yang, L. Wang, S. Ouyang // Foods. 2022. Vol. 11(24). Article 3990. <https://doi.org/10.3390/foods11243990>
 19. Chen Y.-X. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbial, biological, and chemical characteristics of different flour streams / Y.-X. Chen, X.-N. Guo, J.-J. Xing, X.-H. Sun, K.-X. Zhu // LWT. 2020. Vol. 118. Article 108790. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108790>
 20. Momen M. Impact of alkaline electro-activation treatment on physicochemical and functional properties of sweet whey / M. Momen, F. Farhad Alavi, M. Mohammed Aider // Food chemistry. 2022. Vol. 373(A). Article 131428. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131428>
 21. Karim A. Sustainable electroisomerization of lactose into lactulose and comparison with the chemical isomerization at equivalent solution alkalinity / A. Karim, M. Aider // ACS omega. 2020. Vol. 5(5). P. 2318–2333. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03705>
 22. Кругликов Б.В. Применение ЭХА-растворов для экстракции горьких веществ хмеля / Б.В. Кругликов, М.В., Гернет // Пиво и напитки. 2011. № 2. С. 36–38.
 23. Lin H.M. Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish fillets / H. M. Lin, Y. C. Hung, S. G. Deng // Food control. 2020. Vol. 112. Article 107117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107117>

24. Pogorelov A. G. Properties of serum albumin in electrolyzed water / A.G. Pogorelov, L.G. Ipatova, M.A. Pogorelova, A.L. Kuznetsov, O.A. Suvorov // *Foods and Raw Materials*. 2022. Vol. 10(1). P. 117–126. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-117-126>
25. Liu R. Quality improvement effects of electrolyzed water on rice noodles prepared with semidry-milled rice flours / R. Liu, Z.-L. Yu, Y.-L. Sun, L.-T. Tong, L.-Y. Liu, L.-L. Wang, X.-R. Zhou, S.-M. Zhou // *Food science and biotechnology*. 2021. Vol. 30. P. 823–832. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00923-x>
26. Xing J.-J. Effect of dough mixing with slightly acidic electrolyzed water on the shelf-life and quality characteristics of fresh wet noodles / J.-J. Xing, D.-H. Jiang, X.-N. Guo, Z. Yang, K.-X. Zhu // *Food control*. 2021. Vol. 124. Article 107891. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107891>
27. Nilova L. A study of the forms of bound water in bread and bakery products using differential thermal analysis / L. Nilova, N. Naumenko, I. Kalinina // *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15(S2). P. 1386–1398.
28. Орлов Б.Ю. Исследование реологических свойств пищевых материалов, обработанных методами электротехнологии / Б.Ю. Орлов, Е.Г. Степанова, А.С. Зайцев // *Альманах мировой науки*. 2017. Т. 17(2–1). С. 65–66.
29. Bölek S. Effects of different types of electrolyzed waters on rheological characteristics of dough and quality properties of bread / S. Bölek, F. Tosya, Ö. Dinç // *Food science and technology international*. 2023. Vol. 6. <https://doi.org/10.1177/10820132231170288>
30. Бушина И.А. Электрохимически активированная вода в технологии коньяка (бренди) / И.А. Бушина, М.В. Гернет // *Пиво и напитки*. 2004. № 6. С. 50–52.
31. Yu Z.L. Effect of electrolyzed water on enzyme activities of tritcale malt during germination / Z.L. Yu, R. Liu // *Journal of food science and technology*. 2019. Vol. 56. P. 1495–1501. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03637-5>
32. Khabaeva Z. Evaluation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* resistance to plant extracts in planktonic cell and biofilm models / Z.G. Khabaeva, F.A. Agaeva, D.A. Marzoeva, A.A. Burnatseva, V.D. Butkhudze // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2023. Vol. 15(6). P. 11–28. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-957>

References

1. Bakhir V.M. Universal electrochemical technology for environmental protection / V.M. Bakhir, A.G. Pogorelov. *International journal of pharmaceutical research and allied sciences*, 2018, vol. 7(1), pp. 41–57.

2. Ding T. *Electrolyzed water in food: fundamentals and applications* / T. Ding, D. H. Oh, D. Liu. Singapore: Springer, 2019, 274 p. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-3807-6>
3. Johansson B. Functional water-in promotion of health beneficial effects and prevention of disease. *Internal medicine review*, 2017, vol. 3(2), article 321. <http://dx.doi.org/10.18103/imr.v3i2.321>
4. Ramírez Orejel, J. C. Applications of electrolyzed water as a sanitizer in the food and animal-by products industry / J. C. Ramírez Orejel, J. A. Cano-Buendía. *Processes*, 2020, vol. 8(5), article 534. <https://doi.org/10.3390/pr8050534>
5. Ignatov I. Preparation of electrochemically activated water solutions (catholyte / anolyte) and studying their physical-chemical properties / I. Ignatov, G. Gluhchev, S. Karadzhov, G. Miloshev, N. Ivanov, O. Mosin. *Journal of medicine, physiology and biophysics*, 2015, vol. 13, pp. 1-21.
6. Chen B.-K. Electrolyzed water and its pharmacological activities: a mini-review / B.-K. Chen, C.-K. Wang. *Molecules*, 2022, vol. 27 (4), article 1222. <https://doi.org/10.3390/molecules27041222>
7. Ignatov I. Dynamic nano clusters of water on waters catholyte and anolyte: electrolysis with nano membranes / I. Ignatov, G. Gluhchev, S. Karadzhov, I. Yaneva, N. Valcheva, G. Dinkov et al. *Physical science international journal*, 2020, vol. 24(1), pp. 46–54. <http://dx.doi.org/10.9734/psij/2020/v24i130173>
8. Ignatov I. Structuring of water clusters depending on the energy of hydrogen bonds in electrochemically activated waters Anolyte and Catholyte / I. Ignatov, G. Gluhchev, N. Neshev, D. Mehandjiev. *Bulgarian chemical communications*, 2021, vol. 53(2), pp. 234-239. <https://doi.org/10.34049/bcc.53.2.5376>
9. Jiménez-Pichardo R. Innovative control of biofilms on stainless steel surfaces using electrolyzed water in the dairy industry / R. Jiménez-Pichardo, I. Hernández-Martínez, C. Regalado-González, J. Santos-Cruz, Y. Meas-Vong, M.d.C. Wachter-Rodarte, J. Carrillo-Reyes, I. Sánchez-Ortega, B.E. García-Almendárez. *Foods*, 2021, vol. 10(1), article 103. <https://doi.org/10.3390/foods10010103>
10. Rebezov M. Application of electrolyzed water in the food industry: a review / M. Rebezov, K. Saeed, A. Khaliq, S.J.U. Rahman, N. Sameed, A. Semenova, M. Khayrullin, A. Dydykin, Y. Abramov, M. Thiruvengadam, M.A. Shariati, S.P. Bangar, J.M. Lorenzo. *Applied sciences*, 2022, vol. 12(13), article 6639. <https://doi.org/10.3390/app12136639>
11. Yan P. Stability and Antibiofilm Efficiency of Slightly Acidic Electrolyzed Water Against Mixed-Species of *Listeria monocytogenes* and *Staphylococcus aureus* / P. Yan, R. Chelliah, K.-h. Jo, V. Selvakumar, X. Chen, H.-y. Jo, D.H. Oh. *Frontiers in microbiology*, 2022, vol. 13, article 865918. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.865918>

12. Vassileva P. Results from the research of water catholyte with nascent (atomic) hydrogen / P. Vassileva, D. Voykova, I. Ignatov, S. Karadzhev, S. Gluhchev, N. Ivanov, D. Mehendjiev. *Journal of medicine, physiology and biophysics*, 2019, vol. 52, pp. 7-11. <https://doi.org/10.7176/JMPB/52-02>.
13. Khrapenkov S.N. Application of ECA solutions and enzyme preparations for hop extraction / S.N. Khrapenkov, M.V. Gernet, D.A. Sviridov, K.V. Kobelev, V.M. Bakhir. *Beer and Drinks*, 2004, no. 2, pp. 32-33.
14. Gernet M.V. Influence of physical and chemical methods of processing plant raw materials on the extraction of phenolic compounds / M.V. Gernet, I.N. Gribkova. *Food Industry*, 2020, no. 7, pp. 44-47. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10075>
15. Gorbacheva M.V. Electrochemical activation as a fat rendering technology / M.V. Gorbacheva, V.E. Tarasov, S.A. Kalmanovich, A.I. Sapozhnikova. *Foods and raw materials*, 2021, vol. 9(1), pp. 32-42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2021-1-32-42>
16. Kobelev K.V. Study of brewer's spent grain environmentally friendly processing ways / K.V. Kobelev, I.N. Gribkova, L.N. Kharlamova, A.V. Danilyan, M.A. Zakharov, I.V. Lazareva, V.I. Kozlov, O.A. Borisenko. *Molecules*, 2023, vol. 28, article 4553. <https://doi.org/10.3390/molecules28114553>
17. Cayemitte P. E. Study of the impacts of electro-activated solutions of calcium lactate, calcium ascorbate and their equimolar mixture combined with moderate heat treatments on the spores of *Bacillus cereus* ATCC 14579 under model conditions and in fresh salmon / P. E. Cayemitte, N. Gerliani, P. Raymond, M. Aider. *International journal of food microbiology*, 2021, vol. 358, article 109285. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109285>
18. Qin M. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbiota and flour characteristics / M. Qin, Y. Fu, N. Li, Y. Zhao, B. Yang, L. Wang, S. Ouyang. *Foods*, 2022, vol. 11(24), article 3990. <https://doi.org/10.3390/foods11243990>
19. Chen Y.-X. Effects of wheat tempering with slightly acidic electrolyzed water on the microbial, biological, and chemical characteristics of different flour streams / Y.-X. Chen, X.-N. Guo, J.-J. Xing, X.-H. Sun, K.-X. Zhu. *LWT*, 2020, vol. 118, article 108790. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108790>
20. Momen M. Impact of alkaline electro-activation treatment on physicochemical and functional properties of sweet whey / M. Momen, F. Farhad Alavi, M. Mohammed Aider. *Food chemistry*, 2022, vol. 373(A), article 131428. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131428>
21. Karim A. Sustainable electroisomerization of lactose into lactulose and comparison with the chemical isomerization at equivalent solution alkalinity / A. Karim,

- M. Aider. *ACS omega*, 2020, vol. 5(5), pp. 2318-2333. <https://doi.org/10.1021/acsomega.9b03705>
22. Kruglikov B.V. Application of ECHA-solutions for extraction of bitter substances of hops / B.V. Kruglikov, M.V., Gernet. *Beer and drinks*, 2011, no. 2, pp. 36-38.
23. Lin H.M. Effect of partial replacement of polyphosphate with alkaline electrolyzed water (AEW) on the quality of catfish fillets / H. M. Lin, Y. C. Hung, S. G. Deng. *Food control*, 2020, vol. 112, article 107117. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107117>
24. Pogorelov A. G. Properties of serum albumin in electrolyzed water / A.G. Pogorelov, L.G. Ipatova, M.A. Pogorelova, A.L. Kuznetsov, O.A. Suvorov. *Foods and Raw Materials*, 2022, vol. 10(1), pp. 117–126. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2022-1-117-126>
25. Liu R. Quality improvement effects of electrolyzed water on rice noodles prepared with semidry-milled rice flours / R. Liu, Z.-L. Yu, Y.-L. Sun, L.-T. Tong, L.-Y. Liu, L.-L. Wang, X.-R. Zhou, S.-M. Zhou. *Food science and biotechnology*, 2021, vol. 30, pp. 823–832. <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00923-x>
26. Xing J.-J. Effect of dough mixing with slightly acidic electrolyzed water on the shelf-life and quality characteristics of fresh wet noodles / J.-J. Xing, D.-H. Jiang, X.-N. Guo, Z. Yang, K.-X. Zhu. *Food control*, 2021, vol. 124, article 107891. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.107891>
27. Nilova L. A study of the forms of bound water in bread and bakery products using differential thermal analysis / L. Nilova, N. Naumenko, I. Kalinina. *Agronomy Research*, 2017, vol. 15(S2), pp. 1386–1398.
28. Orlov B.Yu. Investigation of rheological properties of food materials processed by electrotechnology methods / B.Yu. Orlov, E.G. Stepanova, A.S. Zaitsev. *Almanac of World Science*, 2017, vol. 17(2-1), pp. 65-66.
29. Bölek S. Effects of different types of electrolyzed waters on rheological characteristics of dough and quality properties of bread / S. Bölek, F. Tosya, Ö. Dinç. *Food science and technology international*, 2023, vol. 6. <https://doi.org/10.1177/10820132231170288>
30. Bushina I.A. Electrochemically activated water in the technology of cognac (brandy) / I.A. Bushina, M.V. Gernet. *Beer and drinks*, 2004, no. 6, pp. 50-52.
31. Yu Z.L. Effect of electrolyzed water on enzyme activities of triticale malt during germination / Z.L. Yu, R. Liu. *Journal of food science and technology*, 2019, vol. 56, pp. 1495–1501. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03637-5>
32. Khabaeva Z. Evaluation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* resistance to plant extracts in planktonic cell and biofilm models / Z.G. Khabaeva, F.A. Agaeva, D.A. Marzoeva, A.A. Burnatseva, V.D. Butkhudze. *Siberian Jour-*

nal of Life Sciences and Agriculture, 2023, vol. 15(6), pp. 11-28. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2023-15-6-957>

ВКЛАД АВТОРОВ

Погорелов А.Г.: разработка концепции научной работы, написание рукописи.

Ипатова Л.Г.: составление черновика рукописи.

Панайт А.И.: статистическая обработка.

Погорелова М.А.: сбор и анализ данных.

Станкевич А.А.: сбор и анализ данных.

Суворов О.А.: сбор и анализ данных.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Alexander G. Pogorelov: study conception and design, writing of the manuscript.

Larisa G. Ipatova: drafting of the manuscript.

Artem I. Panait: statistical data analysis.

Maria A. Pogorelova: data collection and analysis.

Anna A. Stankevich: data collection and analysis.

Oleg A. Suvorov: data collection and analysis.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Погорелов Александр Григорьевич, доктор биол. наук, профессор, зав. лабораторией функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук
ул. Институтская, 3, Пущино, 142290, Российская Федерация
agpogorelov@rambler.ru

Ипатова Лариса Григорьевна, доктор техн. наук, доцент, в.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук
ул. Институтская, 3, Пущино, 142290, Российская Федерация
larissa_ipatova@bk.ru

Панайт Артем Игоревич, м.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук

ул. Институтская, 3, Пушкино, 142290, Российская Федерация
panaitartem@gmail.com

Погорелова Мария Александровна, кандидат биол. наук, с.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук
ул. Институтская, 3, Пушкино, 142290, Российская Федерация
rogm2007@rambler.ru

Станкевич Анна Александровна, кандидат биол. наук, с.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук
ул. Институтская, 3, Пушкино, 142290, Российская Федерация
repa-ra@yandex.ru

Суворов Олег Александрович, доктор техн. наук, доцент, в.н.с. лаборатории функциональной микроскопии биоструктур; профессор кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса
Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук; Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)
ул. Институтская, 3, Пушкино, 142290, Российская Федерация; Волоколамское шоссе, 11, г. Москва, 125080, Российская Федерация
SuvorovOA@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Alexander G. Pogorelov, Dr. Sc. (Biol.), Head of the Laboratory
Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences
3, Institutskaia Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation
agpogorelov@rambler.ru
SPIN-code: 4978-3910
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8267-9496>
ResearcherID: R-1065-2016
Scopus Author ID: 7005975281

Larisa G. Ipatova, Dr. Sc. (Ing.)

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

larissa_ipatova@bk.ru

SPIN-code: 6872-6702

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7354-7072>

Scopus Author ID: 57203553434

Artem I. Panait

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

panaitartem@gmail.com

SPIN-code: 5155-6842

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2737-303X>

ResearcherID: P-7347-2015

Scopus Author ID: 54400105000

Maria A. Pogorelova, Candidate of Sciences (Biol.)

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

pogm2007@rambler.ru

SPIN-code: 5307-8095

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3671-6150>

ResearcherID: F-5729-2017

Scopus Author ID: 23973295300

Anna A. Stankevich, Candidate of Sciences (Biol.)

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation

repa-pa@yandex.ru

SPIN-code: 5307-8095

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4220-8355>

Scopus Author ID: 57202850535

Oleg A. Suvorov, Dr. Sc. (Ing.)

Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of the Russian Academy of Sciences; Russian Biotechnological University

3, Institutskaja Str., Pushchino, Moscow region, 142290, Russian Federation; 11, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russian Federation

SuvorovOA@yandex.ru

SPIN-code: 8979-2000

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2100-0918>

ResearcherID W-1014-2017

Scopus Author ID 23482727600

Поступила 28.03.2024

После рецензирования 21.06.2024

Принята 27.06.2024

Received 28.03.2024

Revised 21.06.2024

Accepted 27.06.2024