УДК 658.567.5:637.1 https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-1-22

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ДИОКСИДОМ ХЛОРА*

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

Галина Михайловна Свириденко, д-р техн. наук, главный научный сотрудник, руководитель направления микробиологических исследований молока и молочных продуктов
E-mail: g.sviridenko@fncps.ru
Ольга Михайловна Шухалова, младший научный сотрудник направления микробиологических исследований молока и молочной продукции
E-mail: o.shukhalova@fncps.ru
Денис Станиславович Мамыкин, младший научный сотрудник направления микробиологических исследований молока и молочной продукции
E-mail: d.mamykin@fncps.ru
Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова, г. Углич

Воздушная среда производственных помещений может быть потенциальным источником плесневых грибов и дрожжей, что несет в себе микробиологические риски загрязнение как сырья, так и готового продукта. Поэтому контроль санитарно-гигиенического состояния воздуха и его своевременная дезинфекция является важной частью в обеспечении хранимоспособности и гарантированного качества выпускаемой продукции. Одним из способов обработки воздушной среды в пищевой промышленности является обработка растворами дезинфицирующих средств аэрозольным методом. В данном исследовании проведена оценка эффективности обработки воздуха диоксидом хлора (ClO_2), обладающим сильной окислительной способностью и широким бактерицидным спектром действия, при распылении рабочего раствора с концентрацией действующего вещества 8,25 и 16,5 мг/дм^3 по отношению к тест-культурам *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*) и *Penicillium roqueforti*. Установлено, что для обеспечения бактерицидного эффекта и 100 % фунгицидного действия относительно клеток дрожжей и плесневых грибов в воздушной среде достаточно использовать рабочую концентрацию диоксида хлора 8,25 мг/дм^3 при экспозиционной выдержке 30 мин. В случае повышенных требований к санитарно-гигиеническому состоянию воздушной среды конкретного производственного участка (стерильного воздуха) эффективную концентрацию раствора диоксидом хлора (ClO_2) следует повысить до 16,5 мг/дм^3. Таким образом, диоксид хлора (ClO_2) является перспективным средством для применения в качестве дезинфектанта для обработки воздушной среды производственных помещений на молокоперерабатывающих предприятиях.

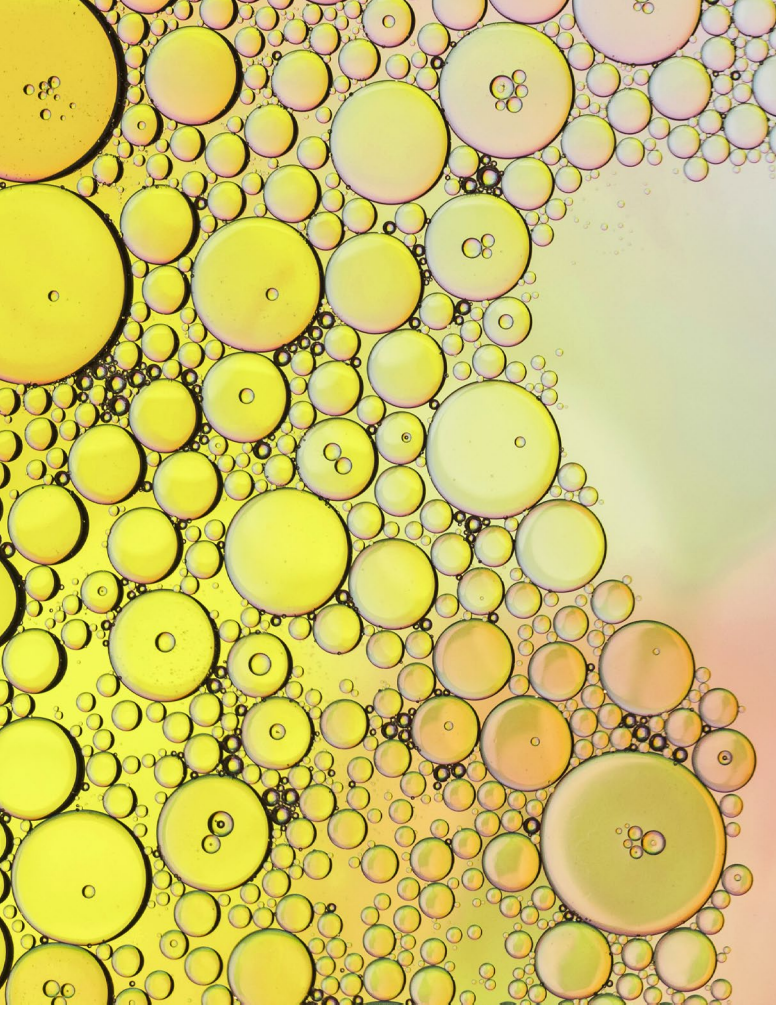
Ключевые слова: воздух, обеззараживание, дезинфекция, диоксид хлора, бактерицидная эффективность, *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*), *Penicillium roqueforti*, концентрация дезинфектанта

Для цитирования: Свириденко, Г. М. Оценка эффективности обеззараживания воздушной среды диоксидом хлора / Г. М. Свириденко, О. М. Шухалова, Д. С. Мамыкин // Молочная промышленность. 2025. № 1. С. 29–34. https://doi.org/10.21603/1019-8946-2025-1-22

ВВЕДЕНИЕ

Санитарно-гигиеническое состояние воздушной среды производственных помещений молокоперерабатывающих предприятий играет ключевую роль в обеспечении выпуска качественной и безопасной продукции. Воздух необходимо рассматривать как потенциальный источник микробиологических рисков во время выработки, фасовки, упаковки и хранения продукта [1]. Аэромикрофлора производственных помещений представляет собой сложный микромир, в который входят плесневые грибы (*Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium* и др.) с их споровыми формами, дрожжи (*Saccharomyces*, *Torulaspora*, *Hanseniaspora*, *Pichia* и др.), разнообразные бактерии, в том числе энтеробактерии, микрококки, стафилококки, спорообразующие палочки и др. Микроорганизмы, присутствующие в воздушной среде, легко перемещаются с воздушными потоками, однако их размножение в данной среде невозможно из-за недостатка влаги и отсутствия питательных веществ. Несмотря на чувствительность к условиям окружающей среды, аэромикрофлора при попадании в продукт может являться причиной появления различных пороков внешнего вида, вкуса, консистенции, рисунка, а также снижать сроки годности и влиять на безопасность, особенно продуктов с длительным сроком хранения[1]. Именно поэтому контроль санитарного состояния воздуха необходим для выявления рисков снижения качества и безопасности выпускаемой продукции, связанных с превышением допустимой обсемененности и требований к санитарно-гигиеническому состоянию воздушной среды, что требует проведения его дезинфекции.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания по теме FGUS – 2024-0007.
[1]Свириденко, Г. М. Санитарно-гигиенический контроль в молочной промышленности / Г. М. Свириденко, М. Б. Захарова // Переработка молока. 2017. № 9(215). С. 6–9. https://www.elibrary.ru/znokpr



Источник изображения: freepik.com

Диоксида хлора (ClO_2) является эффективным средством дезинфекции с сильной окислительной способностью и широким бактерицидным спектром [2, 3]. Находясь преимущественно в молекулярной форме, ClO_2 легко проникает через мембрану бактериальной клетки, что приводит к изменению трансмембранного ионного градиента, ингибированию дыхания и нарушению синтеза белка [4, 5]. В качестве дезинфицирующего средства [6, 7] в пищевой промышленности применяется для дезинфекции питьевой воды и сточных вод [8], а так же поверхностной обработки овощей и фруктов для борьбы с болезнями после сбора урожая [9].

За счет высокой проникающей способности [10, 11] газообразная форма диоксида хлора обеспечивает инактивацию бактерий и может быть использована в качестве средства для дезинфекции воздушной среды [5].

В ряде работ зарубежных авторов продемонстрирована бактерицидная эффективность газа диоксида хлора, используемого для дезинфекции воздуха различных помещений с исходно высоким уровнем обсемененности, таких как больничные палаты [12, 13], машины скорой помощи [14], лаборатории биологической безопасности и подъезды жилых домов [15]. Однако данные, касающиеся использования диоксида хлора в виде аэрозоля в качестве дезинфектанта воздушной среды производственных помещений молокоперерабатывающих предприятий, отсутствуют.

Таким образом, **целью данного исследования** является установление дезинфицирующей эффективности аэрозольной формы диоксида хлора в отношении тест-культур дрожжей *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*) и плесневых грибов (*Penicillium roqueforti*) как основных представителей аэромикрофлоры производственных помещений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выполнении исследований объектами являлись рабочие растворы диоксида хлора, полученные на основе дезинфицирующего средства «DIOKSICL» (ООО «Гран При», Россия), с концентрациями 0,25 и 0,50 % (по препарату) и тест-культуры *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*) и *Penicillium roqueforti*.

Основной раствор «DIOKSICL» получали непосредственно перед проведением эксперимента путем смешивания основных компонентов средства, компонента «А» (водный раствор хлорита натрия) и компонента «Б» (водный раствор гидросульфата натрия моногидрата, содержащий органические или минеральные кислоты и активатор) в соотношении 1:9. Основной раствор, содержит 0,33 % действующего вещества – диоксида хлора и готов к использованию через 3 часа после смешивания. Из основного раствора готовили рабочие растворы с содержанием диоксида хлора 8,25 и 16,5 мг/дм^3, что соответствует 0,25 и 0,50 % по препарату (при расчете процентной концентрации рабочих растворов по препарату основной раствор средства принят за 100,0 %).

Для проведения испытаний воздушную среду обсеменяли методом распыления подготовленными тест-культурами *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*) или *Penicillium roqueforti*, после чего выполняли посевы воздуха.

В опытных вариантах после распыления тест-культур, воздух обрабатывали рабочими растворами средства «DIOKSICL» в концентрации 0,25 % (по препарату) или 0,50 % (по препарату), затем выполняли посевы воздуха в течение 30 мин с интервалом в 5 мин. Распыление рабочих растворов осуществлялось аэрозольным методом из генератора холодного тумана типа «Шторм» при норме

расхода рабочего раствора (35 ± 5) см^3 на 1 м^3 дезинфицируемого воздуха. Распыление рабочего раствора и посевы воздуха осуществлялись в защитном костюме, эффективно защищающем кожные покровы, дыхательные пути и органы зрения. Время дезинфекционной выдержки – 30 мин.

Посев воздуха как в опытных, так и контрольных вариантах проводили в пяти точках, седиментационным методом путем прямого контакта воздушной среды с поверхностью твердой питательной среды КМАФАнМ (производство ВНИИМС г. Углич), разлитой на чашки Петри. Время экспозиции чашек составляло 5 мин. Чашки Петри с посевами воздуха культивировали при (30 ± 1) °С в течение 3 суток.

Подготовка тест-культур. Пробирки с плотной питательной средой, приготовленной в соответствии со Сборником инструкций по приготовлению питательных сред для микробиологического контроля (г. Углич, 2021 г.), после стерилизации укладывали на ровную поверхность под углом (25 ± 5) °С для остывания. После застывания среды, микробиологической петлей производили поверхностный посев тест-культур штрихом. Культивирование тест-культур на скошенном агаре осуществляли в течение 4 суток при температуре (30 ± 1) °С. После подготовки тест-культур с скошенного агара делали смыв в 10 см^3 стерильного физиологического раствора. Из подготовленного смыва готовили 2-ое разведение в соответствии с требованиями ГОСТ 32901-2014[2]. Для приготовления рабочей суспензии, используемой для распыления, отбирали 2 см^3 2-го разведения и переносили в 250 см^3 стерильного физиологического раствора. При распылении рабочей суспензии в помещении объемом 13 м^3 содержание дрожжей, плесневых грибов составляло (48 ± 14) КОЕ на чашку Петри или (7,0 ± 2,0) × 10^3 КОЕ/м^3.

В соответствии с МР 2.3.2.2327-08[3] в воздухе производственных помещений допустимая норма содержания: дрожжей – до 5 КОЕ на чашку Петри или 7,4 × 10^2 КОЕ/м^3, плесневых грибов – до 5 КОЕ на чашку Петри или 7,4 × 10^2 КОЕ/м^3; непроизводственных помещений: дрожжей – до 15 КОЕ на чашку Петри или 2,2 × 10^3 КОЕ/м^3, плесневых грибов – до 10 КОЕ на чашку Петри или 1,5 × 10^3 КОЕ/м^3.

Для определения содержания микроорганизмов в 1 м^3 воздуха (X) используют формулу, предложенную Омелянским, согласно которой на поверхности площадью 100 см^2 оседает в течение 5 мин столько микроорганизмов, сколько их содержится в 10 дм^3 воздуха:

$$X = \frac{a \times 100 \times 5 \times 100}{S \times t} \quad (1)$$

где а – число выросших в чашках Петри колоний (среднее из пяти); 100 – коэффициент пересчета площади чашки Петри на 100 см^2; 5 – стандартное время экспозиции, мин; 100 – коэффициент пересчета на 1 м^3 воздуха; S – среднее значение площади чашек Петри, см^2; t – фактическое время экспозиции, мин.

В соответствии с МУ 2.3.975-00[4], установлены значения критерия эффективности обеззараживания воздуха в соответствии с категорией помещения, % (не менее):

- цехов по производству пищевых продуктов – 99,0;
- помещений для фасовки готовых скоропортящихся продуктов – 95,0;
- помещений по переработке сырья; торговых предприятий общественного питания; мойки и хранения посуды, столовых приборов и тары для консервирования – 90,0;
- складских помещений (с температурой воздуха не ниже 10 °С) – 85,0;
- бытовых помещений – 80,0.

Эффективность обеззараживания (X) рассчитывали по формуле:

$$X = 100 - \frac{Оп}{К} \times 100 \quad (2)$$

где Оп – количество колониеобразующих единиц в посеве воздуха после распыления рабочего раствора средства и дезинфекционной выдержки 30 мин, КОЕ (КОЕ/м^3); К – исходное количество колониеобразующих единиц в посеве воздуха, КОЕ (КОЕ/м^3).

Достоверность полученных данных подтверждается проведением экспериментов не менее, чем в 3-кратной повторности. Статистическую обработку полученных данных и построение гистограмм проводили с использованием программы Microsoft Excel.

[2]ГОСТ 32901-2014 Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2015. – 25 с.
[3]МР 2.3.2.2327-08 Методические рекомендации по организации производственного микробиологического контроля на предприятиях молочной промышленности (с атласом значимых микроорганизмов). Том I. – Углич: ФГБНУ ВНИИМС, 2015. – 174 с.
[4]МУ 2.3.975-00 Применение ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздушной среды помещений организаций пищевой промышленности, общественного питания и торговли продовольственными товарами. – Москва: Минздрав России, 2000. – 20 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе исследований изучали дезинфицирующую эффективность рабочих растворов диоксида хлора с концентрацией (по препарату) 0,25 и 0,50 % относительно тест-культуры *Penicillium roqueforti* в воздушной среде. Результаты влияния диоксида хлора и его бактерицидная эффективность в воздушной среде относительно тест-культуры *P. roqueforti* представлены на рисунках 1 и 2.

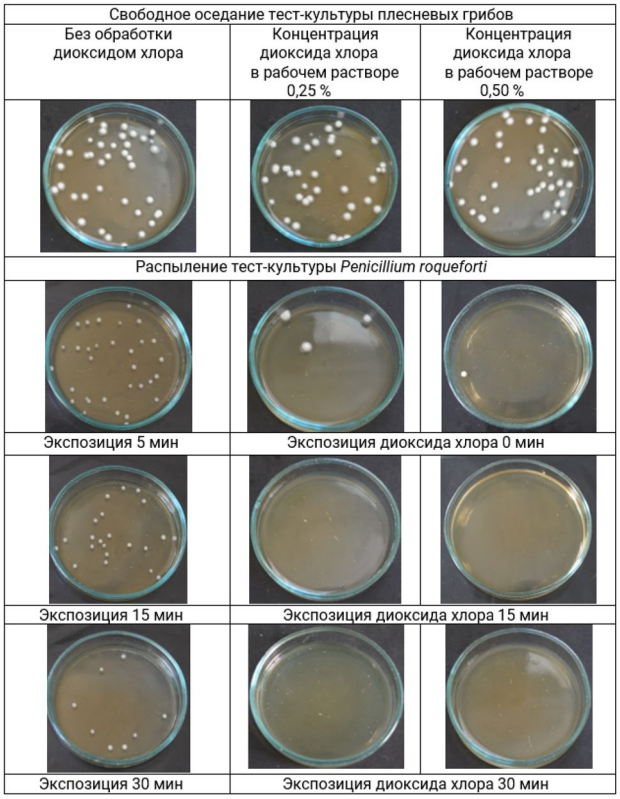


Рисунок 1. Сравнительные результаты исследований влияния распыления различных концентраций диоксида хлора в воздушной среде на тест-культуру *Penicillium roqueforti*

При дезинфекции воздушной среды рабочими растворами с концентрациями 0,25 и 0,50 % (по препарату) в условиях высокого начального обсеменения тест-культурой плесневых грибов, соответствие нормативу, указанному в МР 2.3.2.2327-08 (не более 5 КОЕ на чашку Петри) наблюдалось сразу после обработки (рис. 1). При дальнейшей экспозиционной выдержке в 15 минут при концентрации раствора 0,25 % (по препарату) выявлялись единичные клетки и не в каждой точке контроля (среднее по 5 чашкам – 0,3 КОЕ на чашку Петри), при концентрации раствора 0,50 % (по препарату) плесневые грибы в воздухе полностью отсутствовали. К 30 минутам экспозиции обе исследуемые концентрации диоксида хлора полностью снижали содержание плесневых грибов в воздушной среде на 100,0 %. Без обработки воздушной среды через 30 минут наблюдения среднее количество колоний на чашках Петри составило 8 КОЕ на чашку Петри, что в соответствии с МР 2.3.2.2327-08, превышало норматив содержания плесневых грибов в воздухе производственных помещений.

Отмечена высокая фунгицидная и обеззараживающая эффективность (рис. 2б) рабочих концентраций 0,25 и 0,50 % (по препарату) диоксида хлора относительно исследуемой тест-культуры *P. roqueforti* в воздушной среде уже через 15 мин экспозиционной выдержки.

На втором этапе исследований было продолжено изучение дезинфицирующей активности рабочих растворов диоксида хлора с концентрациями по препарату 0,25 и 0,50 % в воздушной средо относительно тест-культуры дрожжей *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*).

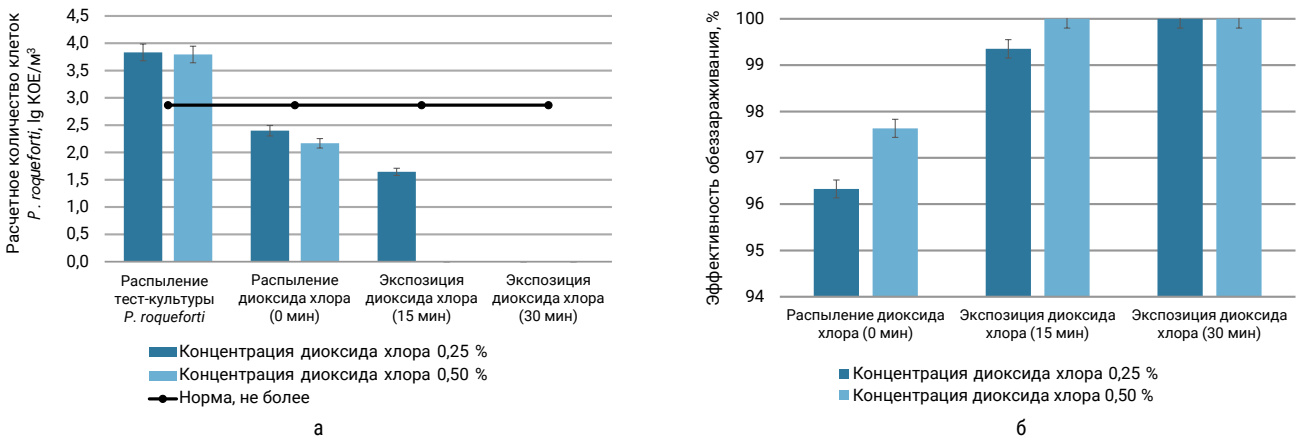


Рисунок 2. Эффективность воздействия распыленных различных концентраций диоксида хлора на количество жизнеспособных клеток тест-культуры *Penicillium roqueforti* в воздушной среде: а) динамика снижения количества клеток; б) эффективность обеззараживания

Данные, касаемые воздействия диоксида хлора на тест-культуру *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*), и его дезинфицирующая эффективность в атмосферных условиях, представлены на рисунках 3 и 4.

Эффективность обеззараживания воздушной среды диоксидом хлора с концентрацией рабочего раствора 0,25 % (по препарату) (рис. 4б)

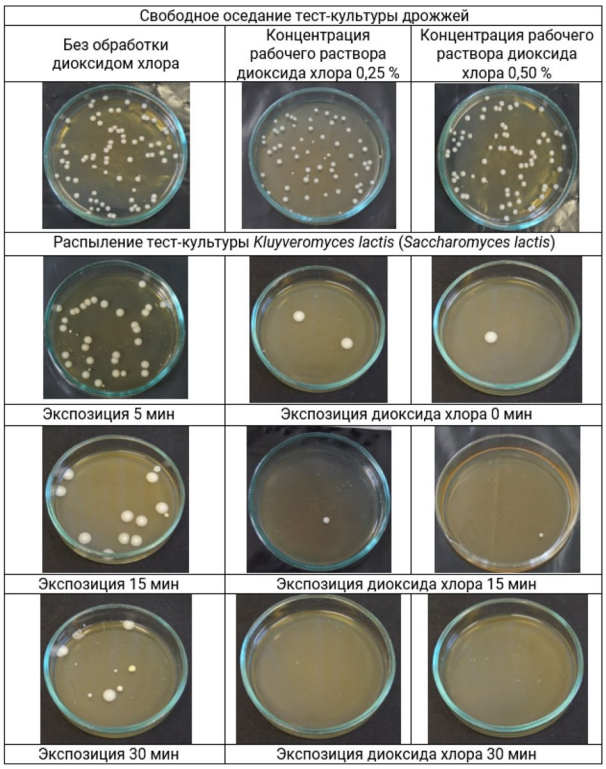


Рисунок 3. Сравнительные результаты исследований дезинфицирующей эффективности распыляемого диоксида хлора в отношении тест-культуры *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*) при обработке воздушной среды

и снижение численности дрожжей (рис. 3 и 4б) сразу после обработки составили 93,2 % – с 48 ± 14 КОЕ на чашку Петри ((7,0 ± 2,0) × 10^3 КОЕ/м^3) до 3,3 ± 1 КОЕ на чашку Петри (2,69 ± 1,0) × 10^2 КОЕ/м^3). С концентрацией рабочего раствора 0,50 % эффективность составила 97,8 % – с 48 ± 14 КОЕ на чашку Петри ((7,0 ± 2,0) × 10^3 КОЕ/м^3) до 1,0 ± 1 КОЕ на чашку Петри ((2,28 ± 1,0) × 10^2 КОЕ/м^3).

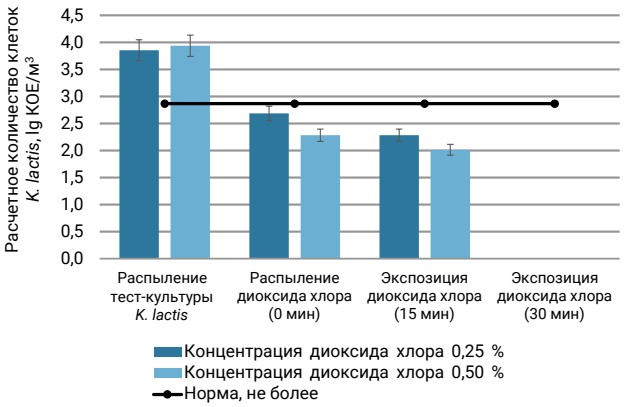
Через 30 мин экспозиционной выдержки независимо от использованной рабочей концентрации отмечено 100,0 % снижение количество дрожжей в воздухе, тогда как без обработки воздушной среды снижение количество дрожжей при свободном оседании составило 81,25 %.

Таким образом доказана бактерицидная эффективность диоксида хлора относительно тест-культуры дрожжей *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*), используемого аэрозольным методом для обеззараживания воздушной среды.

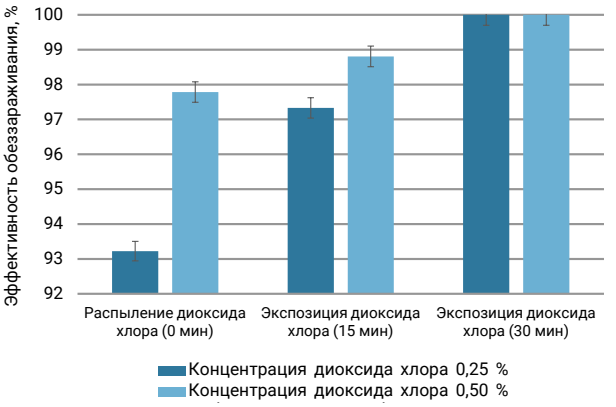
ВЫВОДЫ

Проведенные эксперименты с использованием аэрозольного распыления дезинфицирующего средства «DIOKSICL», действующим веществом которого является диоксид хлора, подтвердили его высокую эффективность относительно дрожжей и плесневых грибов в воздушной среде.

В результате исследований установлена дезинфицирующая эффективность рабочих растворов в концентрациях 0,25 и 0,50 % (по препарату) относительно аэромикрофлоры производственных помещений.



а



б

Рисунок 4. Эффективность воздействия распыления различных концентраций диоксида хлора на количество жизнеспособных клеток тест-культуры *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*) в воздушной среде: а) динамика снижения количества клеток; б) эффективность обеззараживания

Доказано, что снижение обсемененности воздушной среды тест-культурами *Penicillium roqueforti* и *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*) на 100,0 %, т. е. полное обеззараживание, достигается за счет использования рабочей концентрации диоксида хлора 0,25 % (8,25 мг/дм^3) при экспозиционной выдержке 30 мин. В случае повышенных требований к санитарно-гигиеническому состоянию воздушной среды эффективную концентрацию рабочего раствора следует повысить до 0,50 % (16,5 мг/дм^3). ■

AIR DISINFECTION PERFORMANCE OF CHLORINE DIOXIDE

Galina M. Sviridenko, Olga M. Shukhalova, Denis S. Mamykin
All-Russian Scientific Research Institute of Butter and Cheese Production, Gorbatov Research Center for Food Systems, Uglich

ORIGINAL ARTICLE

Air is a potential source of mold and yeast contamination for both raw materials and finished products on industrial premises. Only regular air disinfection guarantees shelf-stable high-quality finished dairy products. Aerosol disinfectant is a popular air treatment method in the food industry. Chlorine dioxide (ClO_2) is known for its strong oxidizing capacity and a wide bactericidal range of action. This research tested chlorine dioxide (8.25 and 16.5 mg/dm^3) against *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*) and Penicillium roqueforti. The working concentration of 0.25% chlorine dioxide (8.25 mg/dm^3) demonstrated a strong bactericidal effect and 100% fungicidal action against yeast and mold cells in the air after 30 min of exposure. In case of high sanitary and hygienic requirements, e.g., sterile air, the effective concentration was 0.50% (16.5 mg/dm^3). Chlorine dioxide demonstrated excellent performance as an air disinfectant for milk processing facilities.

Keywords: air, decontamination, disinfection, chlorine dioxide, bactericidal performance, *Kluyveromyces lactis* (*Saccharomyces lactis*), *Penicillium roqueforti*, disinfectant concentration

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Masotti, F.** Airborne contamination in the food industry: An update on monitoring and disinfection techniques of air / F. Masotti [et al.] // Trends in Food Science & Technology. 2019. Vol. 90. P. 147–156. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.06.006
2. **Gómez-López, V. M.** Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review / V. M. Gómez-López [et al.] // Trends in Food Science & Technology. 2009. Vol. 20(1). P. 17–26. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.005
3. **Gordon, G.** Chlorine dioxide: the current state of the art / G. Gordon, A. A. Rosenblatt // Ozone: science & engineering. 2005. Vol. 27(3). P. 203–207. https://doi.org/10.1080/01919510590945741
4. **Jeng, D. K.** Chlorine dioxide gas sterilization under square-wave conditions / D. K. Jeng, A. G. Woodworth // Applied and Environmental Microbiology. 1990. Vol. 56(2). P. 514–519. https://doi.org/10.1128/aem.56.2.514-519.1990
5. **Vandekinderen, I.** Effects of food composition on the inactivation of foodborne microorganisms by chlorine dioxide / I. Vandekinderen [et al.] // International journal of food microbiology. 2009. Vol. 131 (2-3). P. 138–144. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.02.004
6. **Van Haute, S.** Chlorine dioxide as water disinfectant during fresh-cut iceberg lettuce washing: Disinfectant demand, disinfection efficiency, and chlorite formation / S. Van Haute [et al.] // LWT. 2017. Vol. 75. P. 301–304. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.002
7. **Trinetta, V.** Chlorine dioxide for microbial decontamination of food // Microbial decontamination in the food industry / V. Trinetta, M. Morgan, R. Linton. – Woodhead Publishing, 2012. – P. 533–562. https://doi.org/10.1533/9780857095756.3.533
8. **Sorlini, S.** Influence of drinking water treatments on chlorine dioxide consumption and chlorite/chlorate formation / S. Sorlini [et al.] // Water research. 2014. Vol. 54. P. 44–52. https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.038
9. **Feliziani, E.** Disinfecting agents for controlling fruit and vegetable diseases after harvest / E. Feliziani [et al.] // Postharvest Biology and Technology. 2016. Vol. 122. P. 53–69. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.016
10. **Lindsay, D.** Differential efficacy of a chlorine dioxide-containing sanitizer against single species and binary biofilms of a dairy-associated *Bacillus cereus* and a *Pseudomonas fluorescens* isolate / D. Lindsay [et al.] // Journal of Applied Microbiology. 2002. Vol. 92(2). P. 352–361. https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2002.01538.x
11. **Ran, Y.** Chlorine dioxide generation method and its action mechanism for removing harmful substances and maintaining quality attributes of agricultural products / Y. Ran, C. Qingmin, F. Maorun // Food and bioprocess technology. 2019. Vol. 12. P. 1110–1122. https://doi.org/10.1007/s11947-019-02279-x
12. **Lowe, J. J.** Impact of chlorine dioxide gas sterilization on nosocomial organism viability in a hospital room / J. J. Lowe [et al.] // International journal of environmental research and public health. 2013. Vol. 10(6). P. 2596–2605. https://doi.org/10.3390/ijerph10062596
13. **Luftman, H. S.** Chlorine dioxide gas decontamination of large animal hospital intensive and neonatal care units / H. S. Luftman [et al.] // Applied Biosafety. 2006. Vol. 11(3). P. 144–154. http://doi.org/10.1177/153567600601100306
14. **Lowe, J. J.** Evaluation of ambulance decontamination using gaseous chlorine dioxide / J. J. Lowe [et al.] // Prehospital Emergency Care. 2013. Vol. 17(3). P. 401–408. https://doi.org/10.3109/10903127.2013.792889
15. **Wang, T.** Kinetics of inactivation of *Bacillus subtilis* subsp. *niger* spores and *Staphylococcus albus* on paper by chlorine dioxide gas in an enclosed space / T. Wang [et al.] // Applied and Environmental Microbiology. 2016. Vol. 82(10). P. 3061–3069. https://doi.org/10.1128/AEM.03940-15