

УДК 546.134:628.16

А. В. Мокієнко, докт. мед. наук

Національний університет «Острозька академія», Україна

ДІОКСИД ХЛОРУ ЯК ЗАСІБ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ТА ЯКОСТІ СВІЖИХ ОВОЧІВ ТА ФРУКТІВ

A. V. Mokienko, dr. med. sciences

CHLORINE DIOXIDE AS A MEANS OF ENSURING THE SAFETY AND QUALITY OF FRESH VEGETABLES AND FRUITS

Свіжі продукти, включаючи фрукти та овочі, є добрим джерелом поживних речовин та важливим компонентом здорового та збалансованого харчування. Однак свіжі продукти схильні до мікробного забруднення, яке може статися на будь-якому етапі ланцюга постачання харчових продуктів, від посіву врожаю до його доставки споживачеві. Крім того, перехресне забруднення може відбуватися під час обробки, упаковки або транспортування свіжих продуктів. Найпоширенішими джерелами забруднення харчових продуктів є ґрунт, гній тварин та вода для зрошення, а споживання забруднених продуктів може призвести до спалаху харчових отруєнь. У Сполучених Штатах Америки з 2009 по 2018 рік було зареєстровано 340 спалахів харчових отруєнь, пов'язаних зі свіжими продуктами. Крім того, у 2019 році в Європі було зареєстровано 5175 спалахів харчових отруєнь, що включали 49 463 випадки, 3859 госпіталізацій та 60 смертельних випадків. Харчові захворювання не лише впливають на здоров'я людини, але й створюють проблеми для туризму, сільського господарства та харчової промисловості, тим самим серйозно впливаючи на соціально-економічний розвиток.

Мікробне забруднення може впливати на якість та термін придатності свіжих продуктів. У 2010 році, за оцінками, 31% загальної кількості харчової продукції вартістю 161,6 мільярда доларів було визнано непридатною для споживання людиною на рівні роздрібної торгівлі та споживачів. Зі зростанням усвідомлення важливості споживання свіжих продуктів для здорового способу життя, зросло занепокоєння сучасних споживачів щодо свіжості, зовнішнього вигляду та мікробної безпеки свіжих продуктів. На рівні роздрібної торгівлі, переважно в супермаркетах та гіпермаркетах, 15–30% свіжих продуктів було відхилено споживачами через стандарти якості щодо зовнішнього вигляду. Отже, мікробна безпека та висока якість стали проблемою для харчової промисловості та споживачів.

Аналіз даних літератури показав обмеженість вітчизняних досліджень щодо застосування діоксиду хлору в харчовій промисловості. Незважаючи на його високу ефективність як біоцидного агенту широкого спектру дії [1, 2].

Застосування діоксиду хлору (ClO_2) ефективно видаляє бактеріальне, грибкове та вірусне забруднення свіжих продуктів. На відміну від хлору, ClO_2 не утворює токсичних побічних продуктів і не змінює поживні та органолептичні якості харчових продуктів, а також ефективний у широкому діапазоні рН (рН 3–8). Завдяки своїй ефективності та безпеці, ClO_2 був схвалений для дезінфекції свіжих продуктів та в харчовій промисловості [3]. Нещодавно Praeger et al. (2018) [4] та Sun et al. (2019) [5] всебічно розглянули антимікробну активність водного та газоподібного ClO_2 відповідно. Огляд літератури [6] зосереджений на впливі застосування ClO_2 на початкове зниження росту мікробів (короткостроковий ефект) та кінцеве зниження мікробних популяцій під час зберігання свіжих продуктів (довгостроковий ефект).

Механізми, що лежать в основі регуляції якості свіжих продуктів за допомогою ClO_2 , включають його вплив на частоту дихання та біосинтез етилену. Пригнічення біосинтезу етилену за допомогою ClO_2 , спричинене пригніченням генів, пов'язаних з біосинтезом етилену, включаючи ACS2 , ACO1 та ACO3 , викликає фізіологічні та

біохімічні зміни, що відбуваються під час дозрівання та старіння плодів. Зниження частоти дихання та транспірації затримує споживання поживних речовин та води, що безпосередньо впливає на твердість плодів, втрату маси та розм'якшення. Якість свіжих продуктів під час зберігання залежить від кореляції між клітинною енергією та окисно-відновним статусом. Наприклад, повідомлялося, що затримка старіння плодів лонгану, обробленого ClO_2 , пов'язана зі зміненим окисно-відновним станом та збільшенням клітинної енергії [7]. Крім того, зниження мікробної контамінації продуктів, оброблених ClO_2 , призводить до збереження якості та продовження терміну придатності [8].

Концентрація діоксиду хлору та час контакту мають вирішальне значення для визначення ефективності ClO_2 , яка також може змінюватися залежно від типу мікроорганізму та свіжих продуктів. Короткострокова та довгострокова ефективність ClO_2 у пригніченні росту вже існуючих або штучно інокульованих мікроорганізмів була продемонстрована на широкому спектрі свіжих продуктів. Крім того, деякі звіти свідчать про те, що після застосування ClO_2 штучно інокульовані патогени людини, такі як *E. coli*, *Salmonella spp.* та *Listeria monocytogenes*, демонструють вищу інактивацію на свіжих продуктах, ніж природна мікрофлора [4].

Завдяки своїй високій окислювальній здатності (у 2,5 рази вищій, ніж у хлору), ClO_2 ефективно інактивує мікроби при концентрації до 0,1 ppm з мінімальним часом контакту [4]. Встановлено, що ClO_2 ефективний проти грампозитивних та грамнегативних бактерій, тоді як плісєневі та дріжджові гриби продемонстрували проміжну толерантність [5]. Крім того, ClO_2 не реагує з органічними речовинами з утворенням канцерогенних побічних продуктів (тригалометанів), а також ефективний у широкому діапазоні pH [4]. У Сполучених Штатах для обробки свіжих продуктів дозволено максимум 3 ppm ClO_2 . У Європі після обробки ClO_2 необхідне промивання питною водою [4].

Порівняння ефективності дезінфекції різних засобів показало, що газоподібний ClO_2 , гідростатичний тиск та електролізована окислювальна вода були ефективнішими в інактивації мікробів, ніж інші засоби. Середнє зниження мікробної активності газоподібним ClO_2 , гідростатичним тиском та електролізованою окислювальною водою становило 4,07, 3,94 та 3,01 log відповідно [9]. З іншого боку, середня мікробна інактивація після обробки водним ClO_2 (1,49 log) була меншою, ніж газоподібним ClO_2 , проте вищою, ніж у хлорреагентів (1,12 log) [9]. Вища антимікробна активність газоподібного ClO_2 може пояснюватися його легшою доступністю для мікробів, розташованих у важкодоступних частинах свіжих продуктів. Крім того, газоподібний ClO_2 може легко дифундувати в тканини свіжих продуктів, отже, він може інактивувати інтерналізовані мікроби [9]. Однак робота з газоподібним ClO_2 є незручною, оскільки його потрібно виробляти на місці. Крім того, це дороге та вимагає технічної експертизи.

Основні обмеження ClO_2 для практичного застосування включають те, що він може бути неефективним у дозволених концентраціях; у деяких випадках він може впливати на якість оброблених свіжих продуктів. Оскільки ClO_2 є дуже вибухонебезпечним та токсичним для людини у високих концентраціях, впровадження цієї технології обробки в промисловому масштабі є складним.

Висновки та перспективи на майбутнє.

Застосування діоксиду хлору в газоподібній та водній формах продемонструвало свою ефективність у контролі росту мікробів та збереженні якості свіжих продуктів, проте це значною мірою залежить від відповідного типу продукту та умов обробки. Газоподібний ClO_2 є ефективнішим, ніж водна форма. Тим не менш, хоча водні розчини ClO_2 можуть бути простими у використанні, вони вимагають додаткового етапу промивання. ClO_2 , як у газоподібній, так і у водній формі, дестабілізує клітинні мембрани, змінює проникність мембран та порушує синтез білка у мікробів, а також

впливає на біосинтез етилену та швидкість дихання у свіжих продуктах, що має вирішальне значення для підтримки їх якості. Загалом, початкове зниження мікробного забруднення під час зберігання свіжих продуктів призводить до подовження терміну придатності. Попередні дослідження показують, що концентрація ClO_2 та час експозиції мають вирішальне значення для визначення ефективності ClO_2 проти мікробів, але для розкриття механізмів, що лежать в основі регуляції якості свіжих продуктів за допомогою ClO_2 , потрібні додаткові дослідження.

Огляд [6] показав, що сучасні дослідження дезінфекції за допомогою ClO_2 в основному зосереджені на бактерицидній дії ClO_2 ; останнім часом дослідження протигрибкової та противірусної дії ClO_2 привертають до себе увагу. Наразі ефективність ClO_2 переважно перевіряється на лабораторному рівні, що підкреслює необхідність проведення промислових випробувань для різних видів свіжих продуктів. Хімізм впливу газоподібного ClO_2 на свіжі продукти недостатньо вивчені; тому подальші дослідження повинні бути зосереджені на цьому аспекті, який значною мірою ігнорувався в дослідженнях дезінфекції ClO_2 . Крім того, в цьому огляді [6] не оцінювалися різні методи отримання ClO_2 та його ефективність у поєднанні з іншими технологіями для забезпечення післязбиральної якості та мікробної безпеки свіжих продуктів.

Література

1. Петренко Н.Ф., Мокієнко А.В. Діоксид хлору: застосування у технологіях водопідготовки. Одеса. «Optimum». 2005. 486 с. (рос. мовою).
2. Мокієнко А.В. Діоксид хлору: застосування у технологіях водопідготовки. 2-е вид. перероб. і доп. Одеса : «Фенікс», 2021. 336 с. (рос. мовою).
3. FDA (2008). Guidance for industry: guide to minimize microbial food safety hazards for fresh fruits and vegetables. Silver Spring: FDA.
4. Praeger U., Herppich W. B., Hassenberg K. (2018). Aqueous chlorine dioxide treatment of horticultural produce: Effects on microbial safety and produce quality-A review. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 58 318–333. 10.1080/10408398.2016.1169157
5. Sun X., Baldwin E., Bai J. (2019). Applications of gaseous chlorine dioxide on postharvest handling and storage of fruits and vegetables – A review. Food Control 95 18–26. 10.1016/j.foodcont.2018.07.044
6. Siva Kumar Malka, Me-Hea Park. Fresh Produce Safety and Quality: Chlorine Dioxide's Role. Front Plant Sci. (2022). 11;12:775629. doi: [10.3389/fpls.2021.775629](https://doi.org/10.3389/fpls.2021.775629)
7. Chumyarn A., Shank L., Uthaibutra J., Saengnil K. (2016). Effects of chlorine dioxide on mitochondrial energy levels and redox status of 'Daw' longan pericarp during storage. Postharv. Biol. Technol. 116 26–35. 10.1016/j.postharvbio.2016.01.002
8. Islam M. Z., Mahmuda A. M., Jong M. P., Il-Seop K., Ho-Min K. (2017). Chlorine dioxide gas retain postharvest quality and shelf life of tomato during modified atmosphere packaging storage. AGRIVITA J. Agricult. Sci. 39 10.17503/agrivita.v39i3.1454
9. Yoon J. H., Lee S. Y. (2018). Review: Comparison of the Effectiveness of Decontaminating Strategies for Fresh Fruits and Vegetables and Related Limitations. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 58 3189–3208. 10.1080/10408398.2017.1354813