

УДК 539.12: 614.8

## БЕЗПЕЧНІСТЬ МЕТОДІВ ПОДОВЖЕННЯ ТЕРМІНІВ ЗБЕРІГАННЯ РОСЛИННИХ МАТЕРІАЛІВ

Трегубов Д.Г.<sup>1</sup>, к.т.н., доц.; Вілль М.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

Скупчення рослинних матеріалів такі, як сіно, солома, збіжжя, торф та ін., що зберігаються в умовах вологості, більшої за критичну стають середовищем для життєдіяльності мікроорганізмів та комах, що призводить до зміни властивостей цих речовин та виділення тепла, що може завершитись виникненням горіння, або, навіть, вибухом. Тому системи зберігання твердих матеріалів рослинного походження потребують вживання заходів з профілактики як біологічної контамінації, так й самовільного виникнення горіння. Необхідним наслідком вживання таких заходів є подовження термінів зберігання таких матеріалів.

Самовільне виникнення горіння скупчень твердих матеріалів рослинного походження відбувається внаслідок тепловиділення під час життєдіяльності мікроорганізмів у їх середовищі [1]. Самонагрівання таких речовин призводить до втрати споживчої цінності або їх знищення. Крім того, виникнення пожежі або вибуху може призвести до руйнування будівельних конструкцій, загибелі людей або тварин. Наявність розвитку таких самовільних процесів ідентифікують за наявністю явища самонагрівання скупчення матеріалу. Запобігання виникнення самонагрівання рослинних матеріалів здійснюють на підготовчих стадіях обробляння перед складуванням, але часто цих заходів виявляється недостатньо. Тому виникає потреба у заходах з припинення самонагрівання під час зберігання.

Типовим напрямком запобігання мікробіологічного самонагрівання є створення несприятливих умов для життєдіяльності мікроорганізмів за рахунок зменшення вологості матеріалу. Наприклад, розроблено автоматизоване сушіння збіжжя за умови дії надвисоких частот [2]. Але такий та інші типові методи обробляння не завжди здатні забезпечити необхідний рівень вологості. Крім того, під час зберігання рослинних матеріалів їх вологість може збільшуватись внаслідок природних процесів дихання.

Крім тепловиділення під час життєдіяльності мікроорганізмів до початку самонагрівання скупчень рослинних матеріалів може призвести розвиток колоній комах. Але, на відміну від мікроорганізмів, комахи можуть активно розвиватися й у сухому збіжжі. Деякі хвороби борошна та хліба, такі як картопляна паличка витримують нагрів до температури 120 °С протягом години. Певних успіхів у боротьбі з розвитком хвороб сільськогосподарських продуктів надає підтримання жорстких умов зберігання – низьких температури та вологості.

На сучасному етапі для подовження термінів зберігання харчових і сільськогосподарських продуктів зазвичай застосовують хімічну обробку. Однак багато з використовуваних реагентів створюють небезпеку певного рівня для людини. Наприклад, борошно оброблюють газоподібним діоксидом хлору (E926) для відбілювання і знезараження, однак при цьому борошно втрачає токофероли (вітамін E) і жирні кислоти, т.е. знижуються споживчі властивості продукції. Застосовують хімічні препарати інсектицидної та фунгіцидної дії, які можуть мати як окрему, так і синергетичну дію [3]. Проте, таке оброблювання забруднює продукти харчування, викликає необхідність впровадження строків очікування близько

місяця, після яких стає можливим харчове використання обробленої продукції.

Відомий спосіб припинення життєдіяльності аеробних мікроорганізмів шляхом витискання повітря негорючим газом ( $\text{CO}_2$ ) із скупчення матеріалу біологічного походження [4], наприклад, у силосі. Також запобігання самозаймання здійснюють шляхом вентиляції скупчення рослинного матеріалу, наприклад зерна, продуктами горіння, які не містять пірогенетичної вологи [5]. Розвитком цієї ідеї є спосіб зберігання рослинних матеріалів (збіжжя) на елеваторах, за яким пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів шляхом послідовних стадій сушіння у сушарках та розташуванням у силосах з вентиляцією та продуванням негорючим газом згоряння палива, що не створює пірогенетичної вологи, та попереджає виникнення самонагрівання [6]. У такий спосіб запобігають розвитку осередків тління й виникнення наступних вибухів. При цьому створюється вплив на аеробні мікроорганізми і дезінфекція рослинного матеріалу, але даний спосіб потребує застосування додаткових технологічних систем (сушарки, камери спалювання, продувні системи) та використання негорючого газу  $\text{CO}_2$ . Проте, застосування  $\text{CO}_2$  обмежується, оскільки це сприяє парниковому ефекту.

Відповідно, актуальним завданням є створення способу запобігання самозаймання при зберіганні скупчень рослинних матеріалів, який характеризується підвищеною ефективністю, надійністю та екологічною безпекою. Оскільки у збіжжі, що дихає, неможливо забезпечити відсутність вологості навіть після найкращого сушіння, а хімічне пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів небажано (у тому числі й використання  $\text{CO}_2$ ), необхідно впроваджувати інші заходи.

У якості іншого напрямку пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів застосовують іонізуюче випромінювання. Радіаційна обробка харчових продуктів для збереження їх споживчих властивостей впроваджена у широке застосування більш ніж у 60 країнах світу, а близько 40 країн здійснюють опромінення харчової продукції на постійній основі. За висновком міжнародної комісії (FAO/WHO, 1980) використання радіаційного опромінення харчових продуктів у встановлених оптимальних режимах є самим безпечним у порівнянні з іншими способами обеззаражування. При цьому радіаційна технологія максимально знижує втрати продукції та є універсальною для різних матеріалів рослинного походження, при цьому знижуються експлуатаційні витрати, зберігаються споживчі властивості харчової продукції. Якщо для хімічної дезінфекції час обробки і технологічної витримки для безпеки подальшого використання досягає 45 днів з ефективністю обробки 50%, то радіаційна обробка дозволяє отримати 100% ефективність з можливістю використання вже через 1 добу. Обробка харчових продуктів проводиться відповідно до Міждержавного стандарту ISO 14470-2011 [7], який поширюється на процеси опромінення з використанням радіонуклідів  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , генераторів електронних пучків і рентгенівських джерел.

Для радіаційної обробки рослинних матеріалів застосовують  $\beta$ - і  $\gamma$ - випромінювання, джерелами яких можуть бути прискорювачі електронів, рентгенівські джерела (з енергією до 10 MeV) або ізотопи хімічних елементів у герметичних сталевих ампулах (відповідно до міжнародного стандарту [7]). Продукція, що пройшла радіаційну обробку, позначається логотипом «Radura-logo». Для такого впливу використовують енергії опромінення достатні для розщеплення ДНК шкідливих мікроорганізмів, але які не створюють наведеної радіоактивності. Обробка прискореними електронами не робить матеріал радіоактивним, оскільки електрони не володіють достатньою енергією для взаємодії з ядром атома.

Таким чином, іонізуюче випромінювання можна запропонувати й для попередження самозаймання. Відповідно, попередження самонагрівання внаслідок

життєдіяльності мікроорганізмів можна реалізувати дезінфекцію рослинного матеріалу іонізуючим проникаючим випромінюванням у достатніх дозах – до 9 кГр, за яких ще не змінюються споживчі характеристики матеріалів, але знижуються вимоги до сушіння та вентиляції. Причому здійснюється однаковий вплив, як на аеробні, так і на анаеробні мікроорганізми.

Незважаючи на переваги технології радіаційної обробки харчових продуктів, при її впровадженні виникає ряд проблем, серед яких найбільш значущими є: вибір джерел іонізуючого випромінювання та підбір відповідних для даних мікроорганізмів і продуктів умов процесу обробки; необхідність контрольної ідентифікації та характеристики продуктів радіаційно-хімічних перетворень білків, ліпідів, вуглеводів; радіологічна, мікробіологічна безпечна, токсикологічна та харчова адекватність обробленої продукції. Так, відомо, що в результаті радіаційно-хімічних перетворень жиру молока вони можуть стати менш біодоступними для гідролізу ферментів і засвоювання людиною починаючи з доз опромінення більших за 9 кГр (знижується гідроліз жиру панкреатичної ліпазою)

Пропонують різні конструкції апаратів для оптимізації взаємодії між джерелом опромінення та харчовим продуктом з метою досягнення рівномірності та високої ефективності обробляння. Наприклад, використовують опромінення мішені, яка обертається, одним або декількома джерелами рентгенівського випромінювання [8]. Дози опромінювання до 30 кГр дозволяють провести повне знезараження харчових продуктів. Дози до 4,2 кГр забезпечують зниження концентрації патогенних мікроорганізмів у 10 разів. Але даний спосіб обробляння матеріалів рослинного та тваринного походження не дозволяє здійснювати знезаражування великих обсягів матеріалів, що зберігаються.

Розроблено конвеєрний спосіб дезінфекції упакованих матеріалів [9]. Джерело опромінення (радіоактивний ізотоп) може пересуватися між робочою камерою та поглинальним резервуаром. Для цього використовують рентгенівське або бета-випромінювання (для тонких шарів) [10]. Однак у роботі не розглянуто режими обробляння, що забезпечать неможливість самонагрівання скупчень матеріалів під час зберігання.

Для стаціонарної обробки по сторонах силосу або іншого сховища з рослинним матеріалом (збіжжя, борошно, сіно, торф та ін.) можна запропонувати наступне технічне рішення: розташовують 4 джерела  $\gamma$ -випромінювання (типові –  $^{60}\text{Co}$  та  $^{137}\text{Cs}$ ), які пересуваються повз щілин, закритих стінкою з матеріалу, який у меншому ступені поглинає проникаюче випромінювання. Дані джерела пересуваються уздовж найбільшого габаритного розміру екранованого сховища, зі швидкістю, яка забезпечує отримання доз опромінення у найближчих зонах – не більше ніж 9 кГр, а у середніх – не менше ніж 4,5 кГр, що забезпечує достатній ступінь дезінфекції, запобігання або припинення процесів самонагрівання під час зберігання. Така обробка проводиться в екранованому сховищі, дозволяє забезпечити швидке його завантаження, але має нерівномірність опромінення.

Для конвеєрного або бункерного обробляння рослинного матеріалу його транспортують або пересипають повз 4-х джерел іонізуючого випромінювання ( $\gamma$ -або рентгенівського) зі швидкістю, яка забезпечує отримання доз опромінення близько 9 кГр, що надає достатній ступінь дезінфекції для запобігання або припинення процесів самонагрівання під час зберігання за рахунок відсутності тепловиділення життєдіяльності мікроорганізмів. Таку обробку проводять в екранованому приміщенні, що надає високу рівномірність опромінення, але повільне завантаження сховища.

Для відкритого обробляння сіна, торфу та інших скупчень рослинних

матеріалів забезпечують сканування скупчення іонізуючим випромінюванням ( $\gamma$ - або рентгенівським), направленим вертикально у землю, з досягненням дози опромінення не більше, ніж критична (до 9 кГр – для сіна, до 49 кГр – для торфу), що забезпечує достатній рівень дезінфекції у внутрішніх шарах оброблюваного матеріалу, а також запобігання або припинення процесів самонагрівання під час зберігання. Таку обробку проводять пересувним джерелом іонізуючого випромінювання – висувна стріла, квадрокоптер та ін. за умови відсутності у зоні спостереження людей.

Означені варіанти обробляння пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів у рослинних матеріалах, запобігають самонагріванню цих матеріалів та виникненню пожеж або вибухів. На відміну від інших способів дезінфекції й профілактики самозаймання, іонізуюче опромінення дозволяє проводити знезараження як при складуванні, так і під час зберігання рослинних матеріалів; опромінення у докритичних дозах не забруднює навколишнє середовище та матеріали, не змінює їх споживчі характеристики, строк очікування до споживання після оброблювання становить 1 добу.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Тарахно О. В., Трегубов Д. Г., Жернокльов К. В., Коврегін В. В. Основні положення процесу горіння. Виникнення процесу горіння. Х.: НУЦЗУ, 2020. 408 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/11382>.
2. Пат. 65630UA, МПК А01С 1/00, Н05В 6/64. Пристрій для сушіння зерна та інших сипучих матеріалів електромагнітним полем надвисоких частот / Ю.К. Сидорук. – заявн. та патентовл.: Сидорук Ю.К. – u201106355, 20.05.2011, опубл. 12.12.2011. 5 с.
3. Pat. 2266398A3 EP, IPC A01N 37/46, A01N 43/40. Synergistische Mischungen mit insektizider und fungizider Wirkung / P.-W. Krohn, R. C. Becker, H. Hungenberg. – Original Assignee: Bayer CropScience AG. – DE 102004062512, 24.12.2004, Publication Date: 27.04.2011.
4. Пат. 535494A1 SU, МПК G01N 25/48. Способ определения воздействия средств газового тушения на самовозгорание веществ / М.Н. Федотов и др. – заяв. та патентообл.: ВНИИПО. – 2057515A SU, 06.09.1974, опубл. 15.11.1976.
5. Пат. 14212 UA, МПК А62С 3/04. Спосіб профілактики самозаймання і вибухів на зернових елеваторах / А.І. Бочарніков та ін. – заявн. та патентовл.: ЦШДВГРСВПУ. – U4652363, 21.02.1989, опубл. 25.04.1997.
6. Пат. 56532 UA, МПК А62С 3/04. Спосіб зберігання зерна на елеваторах / І.В. Водоп'янова. – заявн. та патентовл.: Водоп'янова І.В. – U201014068, 25.11.2010, опубл. 10.01.2011.
7. ISO 14470-2011 (R2018). Food irradiation. Requirements for the development, validation and routine control of the process of irradiation using ionizing radiation for the treatment of food. International Organization for Standardization, 2011.
8. Pat. 6868136B2 US, IPC A23L3/263. Irradiation apparatus and method / T. B. Hansen, J. M. McNally. – Original Assignee: Cleaner Food Inc. – US10/877628, 26.06.2004, Publication Date: 15.03.2005.
9. Pat. 8511045B2 US, IPC 3653 55/08. Active sterilization zone for container filling / M. J. Mastio et al. – Original Assignee: Stokely-Van Camp, Inc. – US 2011/0023420 A1, 03.02.2011, Publication Date: 20.08.2013.
10. Pat. 2008/0273661 A1 US, IPC G2 LR 5/08. Irradiation method and apparatus / L. J. Aubel. – Original Assignee: Rago E. Kirk. – US 11/800,394, 05.05.2007, International Publication Date: 11.06.2008.