

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАГИБЕЛІ МІКРООРГАНІЗМІВ ЯК МЕТОД РОЗРОБКИ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ/СТЕРИЛІЗАЦІЇ КОНСЕРВОВАНИХ ПРОДУКТІВ

Архіпова Галина Іванівна, Вовк О.О., Гроза В.А., Гордієнко Н.В.

Метою розробки режимів пастеризації та стерилізації консервів є отримання промисловостерильного продукту, — такого продукту, у якому забезпечена відсутність мікробіальних токсинів, мікроорганізмів, небезпечних для здоров'я споживача, та мікроорганізмів, які здатні викликати псування консервованого продукту.

Сьогодні в Україні склалася ситуація, коли виробництво консервованої продукції вийшло на якісно нові технічний і технологічний рівні, а розробка режимів стерилізації і контроль їх ефективності законодавчо і методично не врегульовані.

До чинних законодавчих документів, що регламентують розробку, перевірку та санітарно-епідеміологічну експертизу режимів стерилізації/пастеризації консервів, слід віднести 2 документи:

- Методичні вказівки з розробки режимів стерилізації та пастеризації консервів і консервованих напівфабрикатів, які виробляються підприємствами України, 1998 р.

- Інструкція про порядок санітарно-технічного контролю консервів на виробничих підприємствах, оптових базах, в роздрібній торгівлі та на підприємствах громадського харчування 1 4.4.4.077-2001. Ці документи призначені, в основному, для розробки та контролю режимів стерилізації не на апаратах безперервної дії і не враховують істотні зміни за останні роки у виробництві консервів.

Цими документами передбачається лабораторна перевірка режиму стерилізації, тобто інфікування консервів відповідними тест-мікроорганізмами, наступну стерилізацію згідно з розробленим режимом і

мікробіологічне дослідження виготовлених консервів щодо вмісту в них тест-мікроорганізмів.

Сучасне технологічне обладнання промислових ліній та санітарно-гігієнічні вимоги до виробництва не дозволяють на виробничих підприємствах харчової промисловості використовувати будь-які мікроорганізми (насамперед патогенні) під час розробки чи перевірки режимів пастеризації/стерилізації нового продукту. В Україні взагалі відсутня експериментальна база, яка дозволяла б в проектних чи пілотних умовах розробляти та відтворювати розроблені параметри режимів стерилізації консервів та технологічного процесу (тип стерилізатора; температура — базова, стерилізації та охолодження; тривалість; рН; в'язкість продукту; швидкість потоку тощо), тобто на практиці достовірно оцінити правильність теоретичних розрахунків цих параметрів. Часткове ж відтворення параметрів процесу стерилізації в умовах експерименту або відтворення не в повних умовах виробництва розцінюється як некоректне та неідентичне режиму стерилізації, що фактично був проведений на підприємстві під час виробництва дослідно-промислової партії консервів.

В економічно розвинутих країнах розробка, перевірка чи експертиза режимів пастеризації/стерилізації консервованої продукції є професійною діяльністю спеціально підготовлених фахівців чи співробітників підприємства або залучених до виконання таких робіт інших, в т.ч. наукових, спеціалістів. Така інформація є суто комерційною.

Тому перед виробниками постала гостра проблема розробки режимів пастеризації/стерилізації консервів без використання мікроорганізмів, яка б базувалась на передових закордонних наукових розробках певному практичному досвіді виробничих підприємств та розробників чи постачальників сучасного обладнання для виробництва консервованої продукції.

Авторами вперше пропонується модель повної загибелі мікроорганізмів, на основі якої виведені залежності визначення параметрів технологічного процесу пастеризації чи стерилізації.

Модель динаміки популяції мікроорганізмів під час нагрівання при сталій температурі описується диференціальним рівнянням

$$\frac{dN}{d\tau} = -KN, \quad (1)$$

з початковими умовами

$$N(0) = N_0, \quad (2)$$

де N_0 — початкова кількість клітин, $N = N_T$ — кількість клітин, що вижили до часу T , K — константа швидкості загибелі, що залежить від спадкових властивостей, фізіологічного стану мікроорганізмів, умов і температури нагрівання. Параметр може бути визначений рівнянням Арреніуса:

$$K = A \exp(-E_{акт}/RT), \quad (3)$$

де A — сталий коефіцієнт, $E_{акт}$ — енергія активації, R — газова стала, T — термодинамічна температура.

Розв'язком рівнянь (1) і (2) є функція

$$N_\tau = N_0 \exp(-K\tau), \quad (4)$$

графік якої називають кривою виживання. В координатах $\{t, N_T\}$ крива виживання має вигляд:

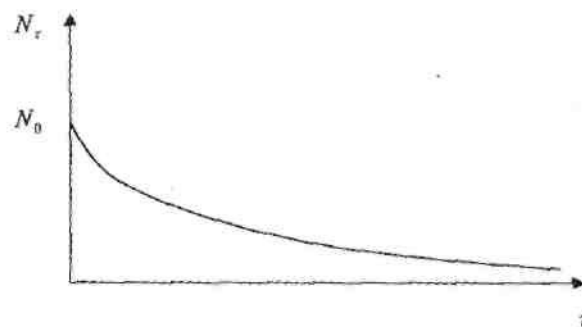


Рис. 1. Крива виживання в координатах $\{T, N_T\}$

В координатах $\{T, \lg N_T\}$ крива виживання представлена прямою лінією:

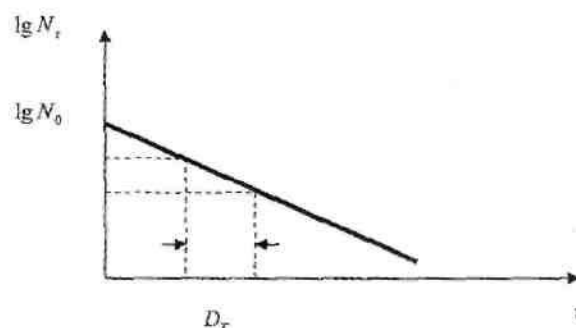


Рис. 2. Крива виживання в координатах $\{T, \lg N_T\}$

Рівняння цієї прямої має вигляд:

$$\lg N_T = \lg N_0 - \frac{K}{\ln 10} \tau. \quad (5)$$

За кривою виживання визначається головний параметр термостійкості D_T - час нагрівання при сталій температурі T , на протязі якого кількість життєздатних клітин або спор зменшується в 10 разів (див. рис. 2):

$$D_T = \frac{\ln 10}{K} \approx \frac{2,3}{K}. \quad (6)$$

Розрахунковий час термічної загибелі $F_T(A_T)$ певної кількості життєздатних клітин тест-штаму мікроорганізму при сталій температурі T виводимо із співвідношення (5):

$$F_T(A_T) = \frac{\ln 10}{K} \lg \frac{N_0}{N_T}. \quad (7)$$

Величина P_m розраховується для температур вище 100°C , величина A_T розраховується для температур нижче 100°C .

Замінивши константу K в (7) виразом (3), одержуємо залежність $F_T(A_T)$ від температури T :

$$F_T(A_T) = \frac{\ln 10}{A} \exp(E_{акм} / RT) \lg \frac{N_0}{N_T}. \quad (8)$$

В системі координат $\{T, \lg F_T(A_T)\}$ залежність між $F_T(A_T)$ та T обернено пропорційна, тобто крива термостійкості повинна бути представлена гіперболічною кривою. Але в вузькому діапазоні температур, що використовується під час стерилізації та пастеризації консервів, крива в системі координат $\{T, \lg F_T(A_T)\}$, як правило, може бути апроксимована прямою (див. рис. 3):

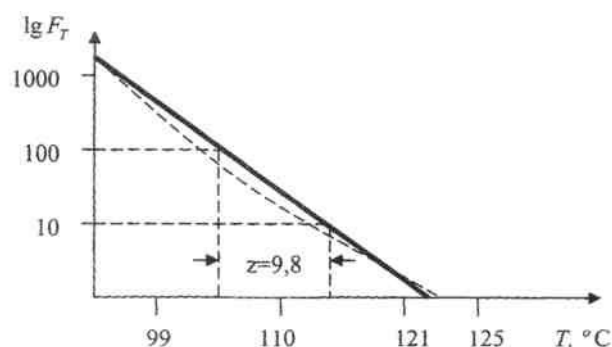


Рис. 3. Апроксимація залежності (8) прямою

Для розрахунку режимів стерилізації на кривих термостійкості (рис. 3) визначають температурний параметр i термостійкості тест-штаму мікроорганізму. Величина 2 дорівнює числу градусів, необхідних для зміни величини $F_T(A_T)$ в 10 разів. Величина 2 може бути розрахована за формулою

$$z = 10 / \lg \left\{ \exp \left[\frac{E_{акм}}{R} - 10 / T(T + 10) \right] \right\}. \quad (9)$$

В практичній роботі величину z визначають графічно із спрямленої кривої термостійкості (рис. 3), рівняння якої має вигляд:

$$\lg F_T = (T_0 - T) / z + \lg F_0$$

Процес нагрівання характеризується показником швидкості нагрівання f_h і коефіцієнтом затримки (лаг-фактором) j_{ch} . Розподіл температур в речовині відповідно до рівняння теплопровідності має вигляд:

$$\frac{T_r - T}{T_r - T_{ih}} = j_{ch} 10^{-t / f_h}, \quad (10)$$

де T_r — температура ємності, T_{ih} — початкова температура продукту на початку нагрівання, T - температура продукту в кінці процесу, що визначається повною летальністю, t — час процесу.

Крива нагрівання визначається дослідним шляхом і в напівлогарифмічній системі координат має вигляд (рис. 4):

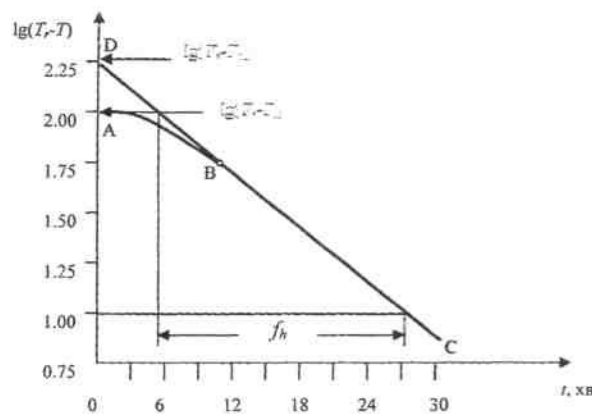


Рис. 4. Крива нагрівання в напівлогарифмічній системі координат

Відрізок графіка АВ включає період досягнення ємкістю необхідної температури, а також період виходу процесу на стадію конвективного нагрівання (відрізок ВС), де розподіл температур відбувається за законом

$$\frac{T_r - T}{T_r - T_{ih}} = 10^{-t/f_h} \quad (11)$$

Для визначення коефіцієнта затримки j_{ch} продовжуємо пряму ВС до перетину лінії, що відповідає початку процесу нагрівання, і одержуємо точку D, якій відповідає значення T_{pih} . Тоді

$$j_{ch} = \frac{T_r - T_{pih}}{T_t - T_{ih}}$$

Показник f_h визначається як котангенс кута нахилу відрізка ВС або як час, необхідний для проходження через один логарифмічний цикл.

Співвідношення (10) і криві нагрівання використовуються для розрахунків технологічного процесу (метод Болла).

Якщо позначити $Tr-T$ через g , а $\lg(Tr-T)$ через x , то із (10) одержимо гіперболічну залежність між відношенням f_h/t та x :

$$f_h/t = 1/(0,71-x) \text{ при } x \leq -0,9452.$$

Для криволінійних відрізків кривих нагрівання приймається апроксимація багаточленом п'ятого порядку:

$$\lg(f_h/t) = 0,072465x^5 + 0,06064x^4 + 0,071368x^3 + 0,23462x^2 + 0,51548x + 0,12384,$$

яка розглядається при $x > -0,9452$.

Таким чином, в залежності від виду виробництва та виду продукції, можна використати відповідну модель для розрахунків режимів пастеризації/стерилізації без використання патогенних штамів мікроорганізмів. На практиці було підтверджено правильність запропонованих залежностей показників.

ЛІТЕРАТУРА

1. Методичні вказівки з розробки режимів стерилізації та пастеризації консервів і консервованих напівфабрикатів, які виробляються підприємствами України, 1998 р.

2. Інструкція про порядок санітарно-технічного контролю консервів на виробничих підприємствах, оптових базах, в роздрібній торгівлі та на підприємствах громадського харчування 1 4.4.4.077-2001 р.
3. Флауменбаум Б.Л. Интенсификация режимов стерилизации консервов и их научное обоснование. Консервная и овощесушильная промышленность. - М.: Пищепромиздат. -1965. - С. 10-47.
4. Бабарин В.П. и др. Справочник по стерилизации консервов. М., 1996. -С. 71-94.
5. Мазохина-Поршнякова Н.Н. Подавление возбудителей ботулизма в пищевых продуктах. -М., 1989. - С. 68-79, 85-96.
6. Щеглов Н.Г. Технология консервирования плодов и овощей. -М.: "Палеотип". -2002. - С. 10-23, 45-57.
7. Кеннет Дж., Валентас Знрике Ротштейн и др. Пищевая инженерия. -С-Петербург: "Профессия". -2004. - С. 17-48.
8. Подрушняк А.Е., Гордиенко Н.В., Архипова Г.И. и др. Ботулотоксин как возможный токсикант консервированной продукции. Современные проблемы государственного контроля производства консервов в Украине // Проблемы харчування. -2006. -№4(13). - С. 52-54.