

罐头杀菌值简单计算方法的探讨

毛伟杰¹, 西尾佳惠², 福岡美香², 酒井昇²

(1. 广东海洋大学食品科技学院, 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东省海洋食品工程技术研究中心, 水产品深加工广东普通高等学校重点实验室, 广东湛江 524088) (2. 东京海洋大学食品生产学科, 东京 1088477)

摘要: 本论文以平板型罐头食品为研究对象, 探讨热杀菌过程中心部分杀菌值的简单计算方法。通常推算杀菌值就需要对温度的数值进行积分, 或利用计算机软件来进行计算分析, 比较困难和复杂。本研究首先利用数学解析计算出中心温度, 再利用积分方法计算出杀菌值后, 建立中心温度和杀菌值的函数关系式。通过函数关系式来推算杀菌值, 比较简单易行。表达式以杀菌温度和 Z 值作为参数, 推导出不同杀菌温度和 Z 值时杀菌值的表达式关系, 不通过积分就可以通过简单的函数式来表达。将通过函数表达式求得的杀菌值和通过积分求得的杀菌值进行比较的结果表明误差在 1 min 以内, 实现了杀菌值的简便计算。此方法简便易行。有利于杀菌工艺的优化, 对罐头食品的品质管理具有重要意义。

关键词: 热杀菌; 简单方法; 近似值; 杀菌值

文章编号: 1673-9078(2019)01-182-188

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.1.026

A Simple Calculation Method for the Sterilization Value of Canned Food

MAO Wei-jie¹, NISHIO Yo-sie², FUKUOKA Mi-ka², SAKAI Noboru²

(1. College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Marine Food, Key Laboratory of Advanced Processing of Aquatic Products of Guangdong Higher Education Institution, Zhanjiang 524088, China) (2. Department of Food Science and Technology, Tokyo University of Fisheries, 4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo 1088477, Japan)

Abstract: Flat-panel canned food was taken as the research object and a simple calculation method for the sterilization value of the central part of the heat sterilization process was proposed. Usually, calculating sterilization value needs either integrating the temperature value or using computer software for calculation, and both of the methods were difficult and complicated. In the proposed method, the central temperature was calculated first by mathematical analysis, then the sterilization value was calculated by integral method and finally a functional relationship between the central temperature and the sterilization value was established. It was relatively simple to calculate the sterilization value through the functional relationship. The expression used sterilization temperature and Z value as parameters to derive the expression relationship of the sterilization value for different sterilization temperatures and Z values. It could be expressed by a simple functional relation without integration. The sterilization value obtained by the functional expression was compared with the sterilization value obtained by the integration, and the error was within 1 min, and the simple calculation of the bactericidal value was realized. This method was simple and easy and beneficial to the optimization of the sterilization process and was of great significance to the quality management of canned food.

Key words: heat sterilization; simple method; approximation; sterilization value

罐头食品等装置容器中的食品杀菌时, 要考虑食品的形态, 因为液体食品和固体食品在加热时, 热移动的形式不同^[1]。对于固体食品和高粘度液体食品来说, 在容器内不会产生自然对流, 主要依靠热传导的形式来传递热, 此时加热速度最慢的点就是食品的中心, 即冷点, 冷点温度随加热时间而发生变化^[2]。若处于冷点的食品达到了杀菌的要求, 罐内其它各处的

食品也肯定达到或超过要求的杀菌处理程度^[3]。通常使用杀菌值 (F 值) 来判别某一杀菌条件的合理性。 F 值是指在 121.1 °C 温度条件下杀死一定数量的微生物或芽孢所需要的加热时间^[4]。在罐藏食品工业食品的冷点温度和杀值的推算一直是一个非常重要的问题, 对于罐头食品加工工艺流程的最优化是非常关键和必要的^[5-8]。目前在我国普遍采用改良基本法或公式计算法来推算杀菌值, 该方法是在了解主要腐败菌如梭状芽孢杆菌中的肉毒杆菌的耐热特性和食品的传热规律的前提下, 将整个杀菌过程中的微生物致死率累积求

收稿日期: 2018-09-13

作者简介: 毛伟杰 (1973-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品贮藏与加工

和,从而评价其最终杀菌效果^[9]。近年来有很多关于杀菌值的数学计算方法的研究,王亮等利用 Cosmol Multiphase 软件对金枪鱼罐头热杀菌过程进行了模拟^[10]。Szabolcs.V 等利用有限元素法推导热传导方程计算出罐头几何中心部位的温度,并推算出杀菌值的分布情况,并发现加热时间的变化和传热系数对杀菌值有很大影响^[11]。Mohammed.F 等利用 CFD 计算软件分析液体食品杀菌低温区域的温度和杀菌值的分布情况,预测了不同形状灌装液体食品的温度和杀菌值,并建立了杀菌时间和罐头内径之间的相关关系^[12]。Isabel.M 等利用有限差分法开发了一个数学模型来描述矩形罐装食品杀菌的热传导过程,并计算了杀菌值,杀菌值受罐内位置以及加热速度和表面传热系数影响^[13]。Goncalves.C 等探讨了利用神经网络模拟的方法推算杀菌过程中的中心温度和杀菌值^[14]。以上研究利用不同的数学方法或计算机软件对食品的杀菌过程的传热和杀菌值进行了推算,使人们对食品杀菌理论有了更深入地了解。但无论其数学计算方法还是软件的应用其实并不简单,也不是很容易就把握的。本项研究的目的是找到一个更简单,更精确的预测食品杀菌值的方法。

在容器的形状比较简单的情况下如平板和圆筒形,容器中心温度可以通过求导热方程的解析解的方法来进行计算^[15]。然而,中心部分的杀菌值的计算就必须对中心部分温度的变化进行数值积分,并不是很简单。所以本项研究的目的是不通过积分的方法,用简便的方法预测中心部分的杀菌值。

1 中心温度的简单预测法

假设罐头的形状为平板状,食品内部的传热是以热传导的方式进行的,并且食品的传热表面足够大。假定初始温度一定的食品在一定的杀菌温度 T_a 下加热,热移动方程式和初始条件以及境界条件可以用下式来表达^[16]。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) \quad (1)$$

$$\text{I.C. 当 } t=0 \text{ 时 } T=T_0 \quad (2)$$

$$\text{B.C. 当 } x=\pm L \text{ 时, } T=T_a \quad (3)$$

式(1)中 T 为加热温度($^{\circ}\text{C}$), t 为时间(s), x 为罐头中某一点距离中心的距离(mm), L 为罐头厚度(mm); α 为热扩散系数(m^2/s)为了让计算更为便利,需要把以上公式进行无量纲处理,无量纲化温度 u 和热扩散系数 θ , 罐头厚度的无量纲化公式由以下公式来计算, $u=(T_a-T)/(T_a-T_0)$, $\theta=\alpha t/L^2$, $X=x/L$ 代入式(1), (3) 进行无量纲处理可得式(1'), (2'), (3')。

$$\frac{\partial u}{\partial \theta} = \frac{\partial^2 u}{\partial X^2} \quad (1')$$

$$\text{I.C. } u=0 \text{ at } \theta=0 \quad (2')$$

$$\text{B.C. } u=1 \text{ at } X=\pm 1 \quad (3')$$

(1') 的解析解为下式(4):

$$U = 4 \sum_{p=0}^{\infty} (-1)^p \frac{\cos \frac{(2p+1)\pi x}{2a}}{(2p+1)\pi} e^{-\frac{\alpha(2p+1)^2\pi^2 t}{4a^2}} \quad (4)$$

在考虑食品中心部分杀菌值的情况下,食品中心部的温度十分重要,因此在 $X=0$ 的情况下:

$$U = 4 \sum_{p=0}^{\infty} (-1)^p \frac{1}{(2p+1)\pi} e^{-\frac{\alpha(2p+1)^2\pi^2 t}{4a^2}} \quad (5)$$

在(5)式中 p 从 0 至无穷大,增加至 P_f (0 至 P_f 中的一点)时可用式(6)来表达,计算结果在图 1 中表示。

$$U = 4 \sum_{p=0}^{P_f} (-1)^p \frac{1}{(2p+1)\pi} e^{-\frac{\alpha(2p+1)^2\pi^2 t}{4a^2}} \quad (6)$$

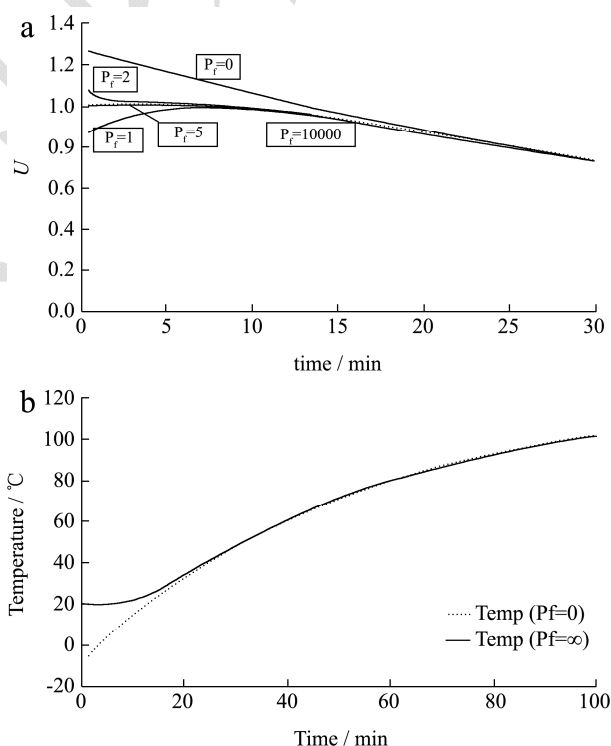


图 1 中心温度随杀菌时间的变化

Fig.1 Center temperature changed with time

注: a. 在时间 $P=0, 1, 2, 5$ 和 10000 时无量纲温度变化; b. 时间为 0 和无穷时大中心温度变化。

从图 1a 中可以看出, P_f 是计算终止时的值,加热后期 U 值在无论 P_f 取值很小或很大时都是一样的。所以在实际计算过程取 $P_f=10000$, 看做是 P_f 趋近于无穷大的值。

为了计算方便, $P_f=0$ 的情况下计算最为简单。

$$U = \frac{4}{\pi} e^{\frac{-\alpha\pi^2}{4a^2}t} \quad (7)$$

从式(7)中求出的 U , 在无量纲时间 0.2 以上, 和 $P_f=\infty$ 条件下求出的 U 值之间的误差在 1% 以内。以举实际温度为例: 厚度为 $L=0.03$ m, 热扩散率 $\alpha=1.13\times 10^{-7}$ m²/s, 初始温度为 $T_0=20$ °C, 杀菌温度为 $T_a=121.1$ °C。 $P_f=0$ 和 $P_f=\infty$ 的计算结果如图 1b 所示。因为温度在 50 °C 以上时误差在 1% 以内, 而且温度在 50 °C 以下时杀菌值几乎为 0, 因此可以利用式(7)来计算温度值以便下一步推算杀菌值。

2 杀菌值的简单算法

F 值是指在任何处理温度 T 时和相当于 121.1 °C 时热处理 1 min 相当的时间, 可以用下式来表达^[17]。其中 Z 值指杀菌时间变化 10 倍所需相应改变的指数。

$$F = t \times 10^{\frac{T-121.1}{Z}} \quad (8)$$

温度随时间一起变化时, 将上式进行时间积分后得到式(9)

$$F = \int 10^{\frac{T-121.1}{Z}} dt \quad (9)$$

把中心温度的预测式代入(9)式中, 就得到下式:

$$F = \int 10^{\frac{1}{Z} \left[T_a + \frac{4}{\pi} e^{\frac{-\alpha\pi^2}{4a^2}(T_a - T_0) - 121.1} \right] dt} \quad (10)$$

2.1 杀菌温度 $T_a=121.1$ °C、 $Z=10$ °C 的条件

下杀菌值和温度的关系式推导

标准杀菌条件是指在杀菌温度为 121.1 °C、 Z 值为 10 °C, 另外的条件为平板的厚度 L 为 0.03 m、初始温度为 20 °C、热扩散率 α 为 1.13×10^{-7} m²/s。无量纲温度 U 的时间变化可以用式(7)推算出来, 再利用式(10)推算出 F 值, 其结果在图 2a 中表示。

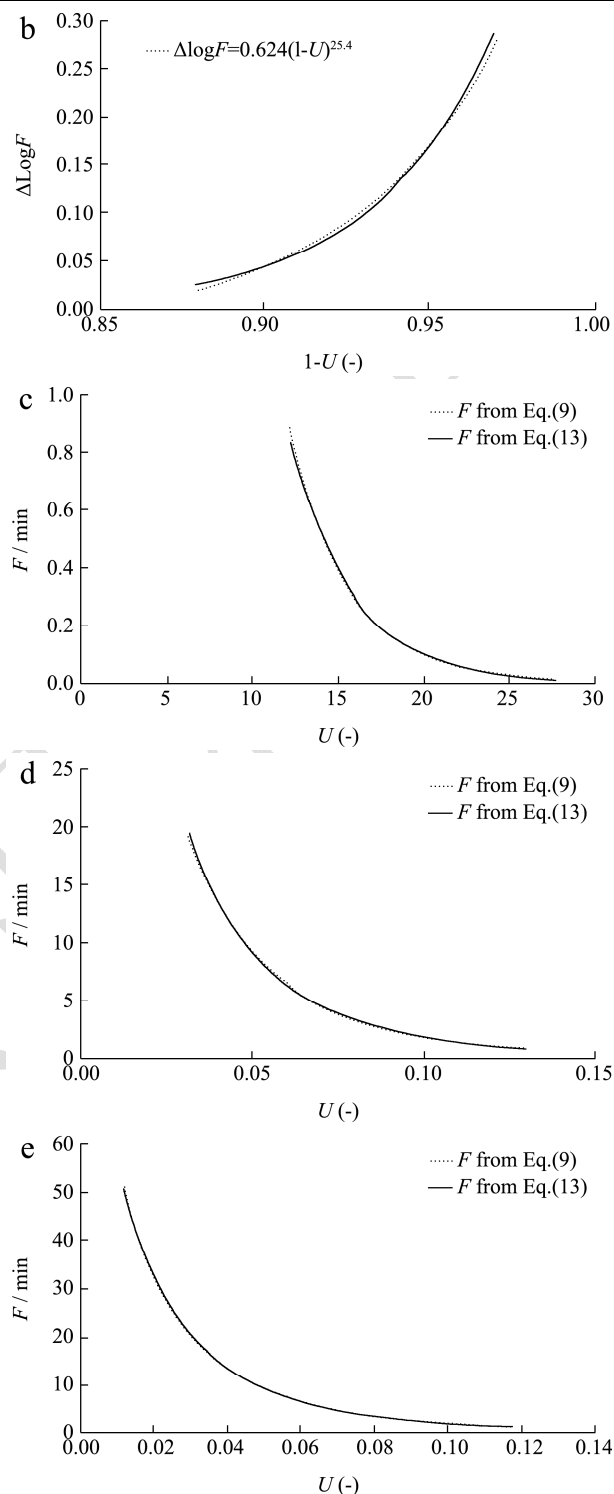
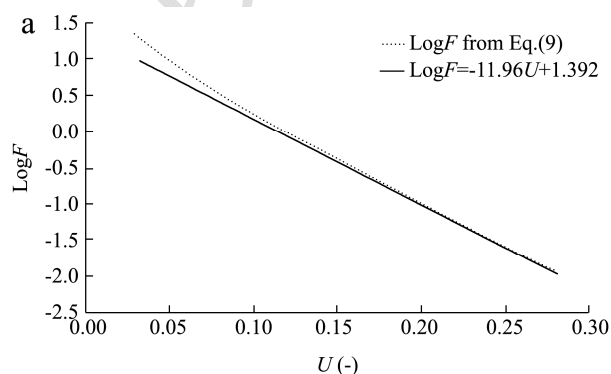


图 2 F 值和 U 的相关关系

Fig.2 The correlation between F value and non-dimensional temperature

注: a: $\log F$ 和 U 相关关系; b: $1-U$ 和 $\log F$ 偏差关系; c: 从方程(9)和(13)计算出 F 值对比; d: 在 $0.01 < F < 1$ 时; e: $F < 50$ 时

图 2a 表示的是 F 值取对数后和无量纲温度 U 的关系值。其关系可以利用近似直线来描述, 计算值和自动生成直线之间还有一定的差异, 因此需要分成几

个区域分别进行讨论。

(1) $0.01 < F < 1$

$F < 0.01$ 时, 杀菌值很小可以不予讨论。在 $0.01 < F < 1$ 的范围内, $\log(F)$ 和 U 的关系可用直线关系近似表达为:

$$\log F = -11.96U + 1.392 \quad (R^2 = 0.9997) \quad (11)$$

将从式 (11) 中求出的杀菌值和式 (9) 中的数值积分得到的杀菌值进行比较, 差值在 0.04 min 以内, 几乎相等。所以在 $0.01 < F < 1$ ($-2 < \log F < 0$) 的范围内可以用式 (11) 来近似表达杀菌值。

(2) $1 < F < 20$

在图 2a 中当 U 的值逐渐减小, 小于 0.1 时 $\log F$ 的值逐渐大于 0 后, 从式 (11) 中求得的杀菌值和式 (9) 中求得的杀菌值的差也逐渐增大。所以要通过函数关系把这个差值进行表达。以 $1-U$ 为横轴, 以 $\Delta \log F$ 为纵轴做图 2b, 就可以通过指数表达式来近似计算这部分差值。

$$\Delta \log F = 0.624(1-U)^{25.4} \quad (R^2 = 0.9955) \quad (12)$$

综合式 (11) 和 (12), 杀菌值 $\log F$ 可以用式 (13) 来表达

$$\log F = -11.96U + 1.392 + 0.624(1-U)^{25.4} \quad (13)$$

图 2c 中结果为从式 (9) 和式 (13) 中计算出的杀菌值的比较结果, 最大误差在 0.4 min 以内。在 (12) 式中 U 越接近 1, $\Delta \log F$ 越接近于 0, 因此对式 (13) 是否也适合于计算在 $0.01 < F < 1$ 的范围内的杀菌值进行了探讨, 结果如图 2d 中所示, 最大误差在 0.01 min 以内, 所以式 (13) 可以表达全部范围的杀菌值。在图 2e 中, 将 F 值的范围扩大至 $F < 50$ 的范围中误差都在 1 min 以内。因此可知, 杀菌值可以利用式 (13) 计算。

2.2 Z 值为 10 的条件下不同杀菌温度下杀菌值的计算

因为杀菌温度可以在 90°C ~ 150°C 范围内变化, 虽然可以利用式 (9) 计算单一杀菌温度下的杀菌值, 计算结果如图 3 所示, 尽管杀菌趋势相同, 但是曲线并不重合, 如利用式 (9) 一个表达式来计算不同杀菌温度的影响是非常困难的。为了使函数关系更加明确就定义了各杀菌温度下的杀菌值, 如式 (14) 所示。

$$F_T = \int 10^{\frac{T-T_a}{z}} dt \quad (14)$$

在此定义下计算出的 F_T 和 U 值的关系计算结果用图 4 来表示, 进行变换之后, $\log F$ 值趋势发生改变,

但是同样很难用一条曲线来表达, 所以就一进步定义了一般表达式 (15)。

$$\log F_T = aU + b + c(1-U)^d \quad (15)$$

图 5 中结果为式 (15) 中的系数 a , b , c , d 和温度关系, 从图中可以看出, 系数 b 和 c 是常数, a 和 d 能用一次函数式来表达。

$$\begin{cases} a_z(T_a) = -0.119T_a + 2.38 \\ d_z(T_a) = 0.273T_a - 7.58 \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} b = 1.39 \\ c = 0.626 \end{cases} \quad (17)$$

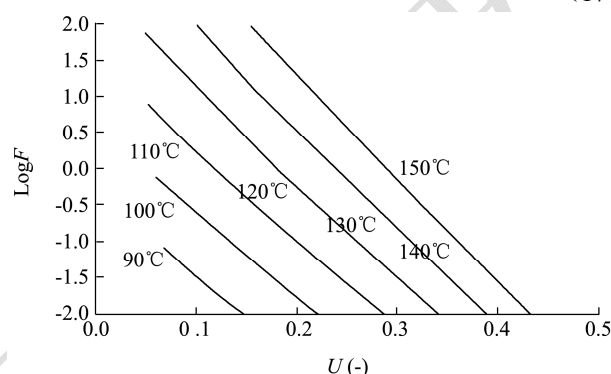


图3 温度从 90°C 到 150°C 时 U 和 $\log F$ 值之间的关系

Fig.3 The relationship of $\log F$ and U at the sterilization temperature from 90°C to 150°C

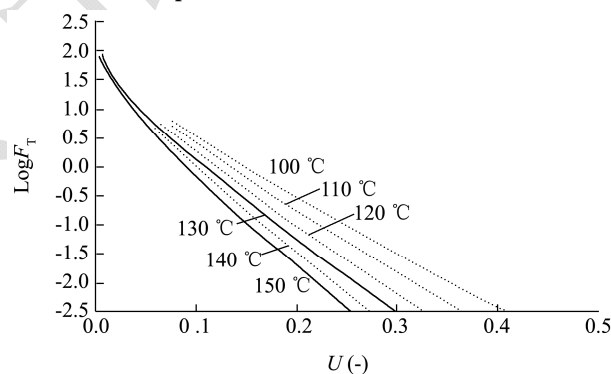


图4 在 $Z=10^\circ\text{C}$ 时 U 和 $\log F$ 值的关系

Fig.4 The relationship of $\log F$ and U at $Z=10^\circ\text{C}$

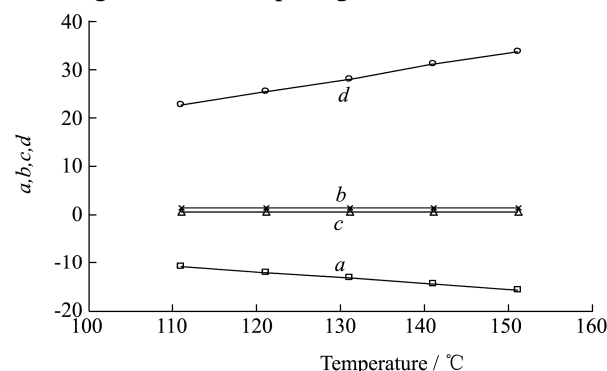
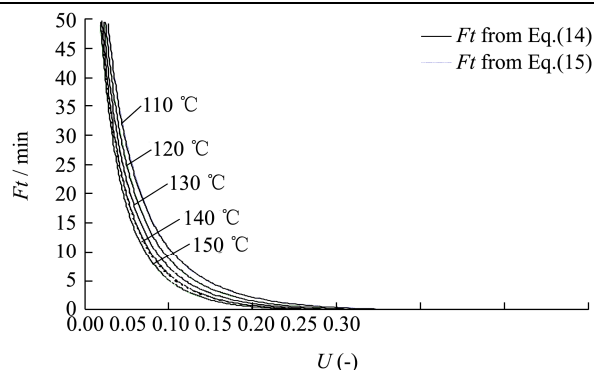


图5 方程 15 中系数和温度的关系

Fig.5 The relation between coefficients in equation 15

图6 无量纲温度和从方程 15 推导的 F 值之间的关系Fig.6 The relation between non-dimensional temperature and F

把杀菌温度代入以上的式子中,就能够求出系数,在(15)式中就能够求出杀菌温度和杀菌值的关系,如图6所示。 FT 值在20 min以内时与从(14)式中直接积分所得的误差为0.5 min, FT 值在50 min以内时其误差值为1 min。并且 F 和 FT 的关系可以用下式来表达。

$$F = F_T \times 10^{\frac{T-121.1}{z}} \quad (18)$$

2.3 在杀菌温度 $111\text{ }^{\circ}\text{C} \leq T_a \leq 151\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 Z 值为

$5\text{ }^{\circ}\text{C} \leq Z \leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下杀菌值的推算

从以上可以看出标准杀菌温度以外的任意温度的杀菌值都可以用函数关系式来表达,下一步就是要对 Z 值为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以外的温度进行探讨, Z 值是耐热常数,反映了某种菌的耐热特性(不同微生物对温度的敏感程度),主要用于表示热致死效果。在计算杀菌强度时对于低酸性食品中的微生物,如肉毒杆菌等一般取 $Z=10\text{ }^{\circ}\text{C}$;在酸性食品中的微生物,采取 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或以下杀菌的温度,通常取 $Z=8\text{ }^{\circ}\text{C}$, Z 值与微生物的种类有关、与环境因素有关。因此考虑把 Z 值作为变量,代入杀菌值公式。 Z 值作为变量,系数 b 、 c 和杀菌温度的关系如图7a所示。图中系数 b 、 c 在杀菌温度和 Z 值无关,几乎为定值,取其平均值可得:

$$b=1.39, c=0.624 \quad (19)$$

把 Z 值作为参数,系数 a 、 d 和杀菌温度的关系如图7b和图7c所示。从图中可以看出 Z 值一定时,随着杀菌温度的变化系数 a 、 d 能用杀菌温度的一次函数式来表达,在各 Z 值条件下的各系数值在表1中列出。

把杀菌温度作为参数,系数 a 、 d 和 Z 值的关系如图8a,图8b所示,系数 a 是 Z 值的2次函数,系数 d 是 Z 值的指数函数,各杀菌温度条件下的各系数值在表2中列出。

表1 不同 Z 值下的系数 a 和 d Table 1 Coefficients a and d at different Z values

$Z/^{\circ}\text{C}$	a_z	d_z
5	$a_z(T_a)=-237T_a+4.7$	$d_z(T_a)=0.540T_a-9.05$
7.5	$a_z(T_a)=-0.158T_a+3.15$	$d_z(T_a)=0.361T_a-12.3$
10	$a_z(T_a)=-0.119T_a+2.38$	$d_z(T_a)=0.273T_a-7.35$
12.5	$a_z(T_a)=-0.095T_a+1.91$	$d_z(T_a)=0.218T_a-6.44$
15	$a_z(T_a)=-0.079T_a+1.59$	$d_z(T_a)=0.182T_a-56.2$

表2 在不同杀菌温度下的系数 a 和 d Table 2 Coefficients a and d at different sterilization temperature

$T_a/^{\circ}\text{C}$	a_z	d_z
111.1	$a_T(Z)=-0.148Z^2+435Z-39.3$	$d_T(Z)=272.5Z^{-1.08}$
121.1	$a_T(Z)=-0.164Z^2+4.82Z-43.6$	$d_T(Z)=295.9Z^{-1.07}$
131.1	$a_T(Z)=-0.180Z^2+5.29Z-47.9$	$d_T(Z)=326Z^{-1.06}$
141.1	$a_T(Z)=-0.196Z^2+5.76Z-52.1$	$d_T(Z)=349.35Z^{-1.05}$
151.1	$a_T(Z)=-0.213Z^2+6.28Z-56.5$	$d_T(Z)=272.5Z^{-1.08}$

从表1和表2中可以看出,对于图中所表示的杀菌温度和 Z 值可以求出系数来,但是如果是图中所示值以外的值就不适用,因此求解杀菌值时需要把杀菌温度和 Z 值同时作为系数考虑。将 Z 值为 x 轴,杀菌温度为 y 轴,系数 a 、 d 的3维表达结果分别如图9,图10所示。在系数 a 的图中, Z 值为 x 轴,杀菌温度为 y 轴,系数 a 为 Z 轴,以下分别称 x 坐标, y 坐标, Z 坐标。 Z 值为 $x(^{\circ}\text{C})$,杀菌温度为 $y(^{\circ}\text{C})$ 时,如图11所示,在 Z 值(X 坐标)下,杀菌温度取 $TA(^{\circ}\text{C})$, $TB(^{\circ}\text{C})$ 两点,杀菌温度为 $TA(^{\circ}\text{C})$ 时的系数 a 为 $g_a(x)$,杀菌温度为 $TB(^{\circ}\text{C})$ 时的系数 a 为 $f_a(x)$,点 A 、 B 两点的坐标分别是 $A(x, TA, g_a(x))$ 、 $B(x, TB, f_a(x))$ 。因为系数 a 在 Z 值一定,杀菌温度变化时可以用直线表达式来表达,所以点 AB 之间可以用直线连接, P 点是 AB 之间任意一点,用向量来考虑 OP 时, P 点可以用下式表达:

$$\vec{OP} = \frac{1}{(T_B - y) + (y - T_A)} \{ (y - T_A)(x, T_B, f_a(x)) + (T_B - y)(x, T_A, g_a(x)) \} \quad (20)$$

在式(20)中 Z 坐标是系数 a , y 坐标为杀菌温度($y=T_a$), x 为 Z 值($x=Z$),当 TA 、 TB 的值分别是 $TA=151.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $TB=111.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,式(20)可以表达为式(21)

$$a = \frac{1}{111.1 - 151.1} \{ (T_a - 151.1) \times f_a(z) + (111.1 - T_a) \times g_a(z) \} \quad (21)$$

$$\begin{cases} f_a(z) = -0.148z^2 + 4.35z - 39.3 \\ g_a(z) = -0.213z^2 + 6.25z - 56.5 \end{cases} \quad (22)$$

此时 $f_d(Z)$ 是 111.1 °C 时的系数 a 的表达式, $g_d(Z)$ 是 151.1 °C 时的系数 a 的表达式。

同样系数 d 也可以用 (23) 式来表达, 其中 $f_d(Z)$ 、 $g_d(Z)$ 的表达式为式 (24)

$$d = \frac{1}{111.1 - 151.1} \{ (T_a - 151.1) \times f_d(z) + (111.1 - T_a) \times g_d(z) \} \quad (23)$$

$$\begin{cases} f_d(z) = 272.5(z^{-1.08}) \\ g_d(z) = 376.9(z^{-1.05}) \end{cases} \quad (24)$$

把杀菌温度(111.1~151.1 °C), Z 值 (5~15 °C) 代入到杀菌值 FT 的近似表达式中和实际杀菌值进行比较。在 $Z=10$ °C 的条件下, 杀菌温度为(111.1~151.1 °C), Z 值为(5~15 °C)的条件下, 简易法计算的杀菌值和积分法计算出杀菌值的误差在 1 min 以内。

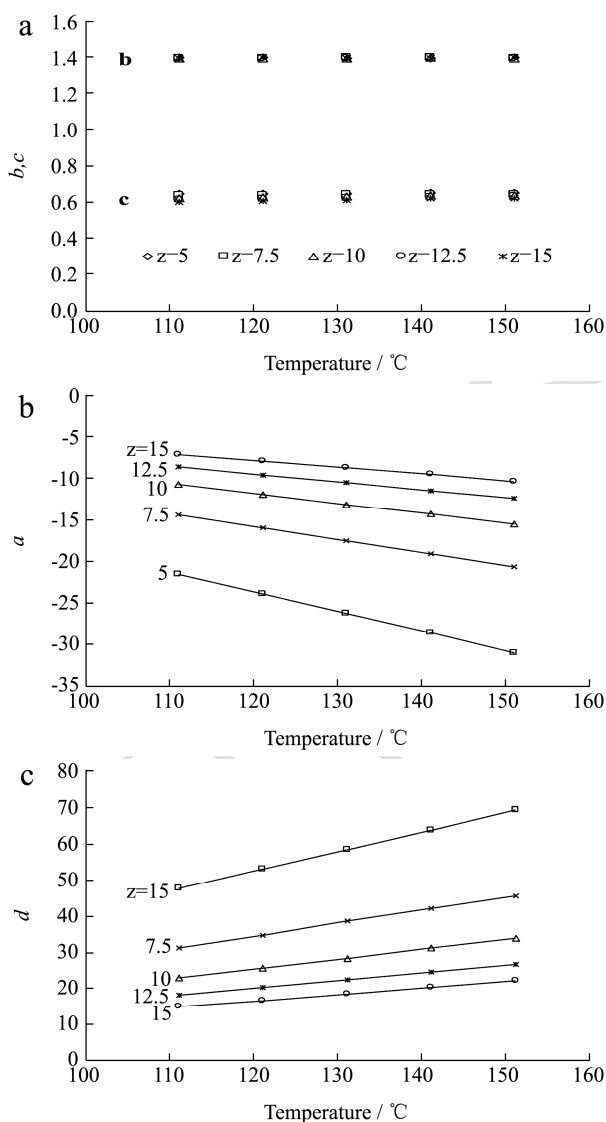


图 7 不同 Z 值时方程 15 的系数 b , c , a , d 和杀菌温度的关系

Fig.7 The relation between the coefficients b , c , a , d in equation 15 with sterilization temperature at different Z values

注: 图 a: b , c ; 图 b: a ; 图 c: d 。

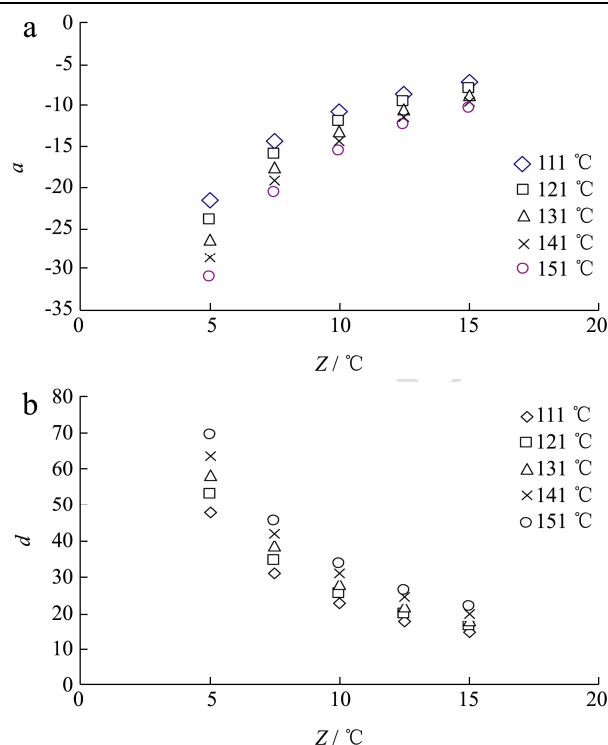


图 8 在不同的杀菌温度下系数 a , d 和 Z 值的关系

Fig.8 The relationship between coefficient a , d and Z value at different sterilization temperature

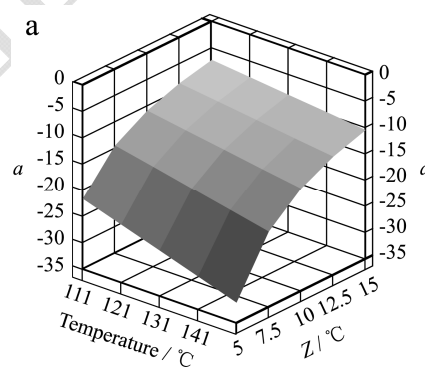


图 9 系数 a 与 Z 值三维关系

Fig.9 Three-dimensional expression of coefficients a with Z value

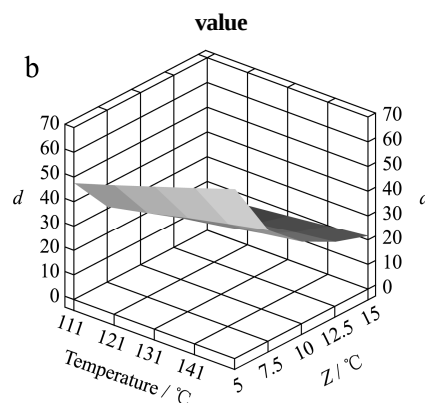


图 10 系数 d 随温度与 Z 变化的三维表达

Fig.10 Three-dimensional expression of coefficients d with Z value

value

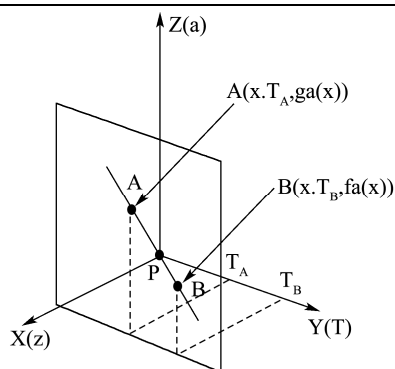
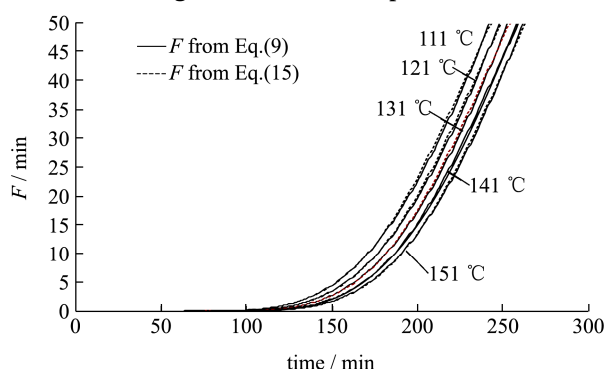


图 11 P 点的示意图

Fig.11 The schematic of point P

图 12 在 $Z=10$ °C 杀菌温度从 111 °C 至 151 °C 范围内的 F 值Fig.12 F -values at different sterilization time from 111 °C to 151 °C at $Z=10$ °C

3 结论

以上就平板状固体罐头食品在一定温度下杀菌值的简便计算方法进行了探讨,推导出函数表达式可代替积分或者查表的方式来计算杀菌值。同时也探讨了不同杀菌温度,不同杀菌值条件下的函数表达式,以便于计算各种杀菌条件下杀菌值的变化。这种方法为杀菌值的计算提供了新的思路,有利于杀菌工艺的优化。但是这篇文章着重对公式进行了理论推导上,在今后的研究工作中需要进一步来进行实验验证。

参考文献

- [1] Abdul-ghani Al-baali A G, Mohammed M F. Principles of thermal sterilization. Sterilization of Food in Retort Pouches [M]. US: Springer, 2006: 25-32
- [2] Hanzawa, T, WANG, Q Z, Suzuki, M, et al. Numerical analysis of slowest heating or cooling point in a canned food in oil [J]. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1998, 31: 451-455
- [3] 赵大云,吴希铭.罐头杀菌冷点温度和 F 值测定系统的设计 [J]. 食品科学, 2005, 4(26): 118-123
ZHAO Da -Yun, WU Xi-Ming. A design of cold spot temperature measurement and F value calculation system for can sterilization [J]. Food Science, 2005, 4(26): 118-123
- [4] 单再成,邓林伟. F 值、 C 值、 E 值及热力杀菌的最佳条件 [J]. 中国果菜, 2000, 6: 24-25
SHAN Dan cheng, DENG Wei-lin. F value, C value, E value and optimum conditions for thermal sterilization [J]. China Fruit & Vegetable, 2000, 6: 24-25
- [5] 刘达玉,刘清斌. 罐头食品杀菌 F 值的探讨 [J]. 农产品加工, 2006, 1: 43-45
LIU Da-yu, LIU Qing-bin. Sterilization F value of canned food [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2006, 1: 43-45
- [6] 张仲斌,黄福南. 电子计算机在热杀菌过程控制中的应用 [J]. 食品与发酵工业, 1994, 1: 74-78
Zhang Zhong-bin, Huang Fu-nan. Application of computer in thermal sterilization process control [J]. Journal of Food and Fermentation Industry, 1994, 1: 74-78
- [7] 王亮,周建伟,邵澜媛,等. 罐头食品热杀菌过程优化研究 [J]. 食品工业科技, 2013, 34(20): 377-385
WANG Liang, ZHOU Jian-wei, SHAO Lan-yuan, et al. Research progress in the optimization of thermal sterilization in canned food [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(20): 377-385
- [8] 李琳,陈峰. 罐头食品热杀菌过程中热传递过程模型化 [J]. 华南理工大学大学学报(自然科学版), 2002, 11: 122-129
LI Lin, CHEN Feng. Modeling heat transfer in thermal sterilization for canned foods [J]. Journal of South China university of Technology (Natural Science edition), 2002, 11: 122-129
- [9] 褚维元. 实用罐头食品杀菌值的理论推算 [J]. 宜春师专学报, 1997, 2: 65-67
CHU Wei-yuan. Theoretical deduction of the sterilization value of practical canned food [J]. Journal of Yichun Teachers College, 1997, 2: 65-67
- [10] 王亮,周建伟,邵澜媛,等. 基于 COMSOL Multiphysics 的金枪鱼罐头热杀菌过程数值模拟 [J]. 中国食品学报, 2015, 3(15): 82-88
WANG Liang, ZHOU Jian-wei, SHAO Lan-yuan, et al. Simulation of thermal sterilization for canned tuna using COMSOL Multiphysics [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 3(15), 82-88
- [11] Varga Szabolcs, Oliveira Jorge C, Oliveira Fernanda A.R. Influence of the variability of processing factors on the F -value distribution in batch retorts [J]. Journal of Food Engineering, 2000, 44: 155-161

(下转第 81 页)

现代食品科技