

文章编号: 1673 1689(2010)05-0641-07

用耐高温 α -淀粉酶构建时间-温度积分器

王金鹏^{1,2}, 徐林^{1,2}, 邓力^{1,2}, 曹旭^{1,2}, 金征宇^{* 1,2}

(1. 食品科学与技术国家重点实验室, 江南大学, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学 食品学院, 江苏 无锡 214122)

摘要: 食品工业杀菌过程中, 测量食品内部温度随时间变化的情况对于控制杀菌过程至关重要, 时间-温度积分器(TTI)可以指示食品内部温度随时间变化情况。以耐高温 α -淀粉酶为指示剂, 采用胶囊包埋技术构建 TTI, 并对该 TTI 构建指示酶的热失活动力学模型, 以魔芋葡聚糖凝胶食品模拟物为载体, 用固体食品流态化超高温杀菌装置对该模型进行验证。统计学分析结果表明: 耐高温 α -淀粉酶的失活遵循一级动力学规律, 实验验证结果与 TTI 构建的模型之间无显著性差异, TTI 技术可以用于酶失活动力学研究, 利用耐高温 α -淀粉酶构建的 TTI 能够满足固体食品流态化超高温杀菌时对食品进行时间-温度指示的要求。

关键词: 时间-温度积分器; 热失活; 动力学; 耐高温 α -淀粉酶

中图分类号: TS 255.44

文献标识码: A

Time-Temperature Indicator based on Thermostable Alpha-Amylase

WANG Jir-peng^{1,2}, XU Lin^{1,2}, DENG Li^{1,2}, CAO Xu^{1,2}, JIN Zheng-yu^{* 1,2}

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: Time-temperature history is important for controlling sterilization process in food industry. Time Temperature Indicator (TTI) can be used to indicate the temperature history inside food. Capsule embedding technology was used to build TTI, in which thermostable alpha-amylase was used as indicator. Kinetics for thermal inactivation of indicator were built and validated with konjac glucomannan as a carrier. The validation experiment was carried out by fluidization solid food ultra high temperature sterilization technology. Statistical analysis showed that: thermostable alpha-amylase give first-order inactivation kinetics, there is no significantly differences between experimental results and model theoretical results, TTI can be used for studying kinetics of enzyme inactivation, TTI with thermostable alpha-amylase as indicator can be used for time-temperature indicating in fluidization solid food ultra high temperature sterilization process.

Key words: TTI, thermal inactivation, kinetic, thermostable alpha-amylase

收稿日期: 2010-01-28

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(20436020)。

作者简介: 王金鹏(1984-), 女, 河南开封人, 制糖工程博士研究生, 主要从事碳水化合物研究。Email: wangjirpeng1984@126.com

* 通信作者: 金征宇(1962-), 男, 江苏扬州人, 教授, 博士生导师, 主要从事为碳水化合物、农副产品的综合利用研究。Email: jinlab2008@yahoo.com

在食品工业中,热处理是一种常用的杀菌手段,但是它在杀灭微生物的同时也能够破坏食品的营养成分,因此了解杀菌过程中食品内部的温度分布情况非常重要,这直接影响到最终产品的安全性及品质损失率^[1]。对于食品内部时间-温度变化情况,普遍采用热电偶和数学模型相结合的方法^[2-4]进行测量。数学模型的建立,大大简化了实验步骤,并为杀菌效果评价提供了理论依据。但是在建立数学模型时需要建立一系列假设,比如表面换热系数无穷大(h_{fp} 趋向无穷大)、食品为无限平板或无限圆柱等,这些假设对于小颗粒固体食品不再适用。而热电偶法指示杀菌过程中的温度分布,具有快速便捷的优点,但由于热电偶置于食品中心时将限制食品的运动或改变食品的运动轨迹,因此该法仅适用于静止状态杀菌过程的指示,对于流态化杀菌过程不再适用。有国外学者报道使用 TTI (Time-Temperature Indicator) 同样可以进行温度分布的指示^[5-7]。TTI 定义为用于模拟目标时间温度总体变化效果的小型装置^[8],由于 TTI 具有小巧方便,测量准确的特点,且可以置于食品内部,在流态化加热过程中不影响食品的运动状态,所以适用于流态化超高温杀菌过程温度分布的指示。

构建 TTI 需要一种指示剂,指示剂的选取应遵循以下几个条件:(1) 价格低廉;(2) 其热力学参数应易于定量测定;(3) 指示范围应该能够满足杀菌要求。国外常用过氧化物酶或耐高温 α -淀粉酶作为指示剂构建 TTI^[9-11],该 TTI 被广泛的置于对象食品中,指示食品储藏品质的变化^[12-14],而用于指示杀菌过程的报道则较少^[15-16],国内对 TTI 的认识仍处于初级阶段,仅蔡华伟^[17]利用耐高温 α -淀粉酶能使淀粉-碘溶液颜色发生变化这一原理制作了一种监测食品储藏条件的装置,除此之外,未见其他报道。

将 TTI 用于固体食品颗粒超高温杀菌过程^[18]进行温度-时间变化指示,需要考虑两个方面:一是指示剂应满足杀菌条件,即动力学参数应在杀菌范围内。二是选择合适的食品模拟物作为载体,使得测定的结果适用于大多数食品。作者采用具有优良的热稳定性的耐高温 α -淀粉酶作为 TTI 的指示剂,用毛细管装载指示剂,制成一种简易的封闭胶囊式 TTI,并对该 TTI 建立耐高温 α -淀粉酶的热失活动力学模型。为验证该模型的正确性及 TTI 在固体食品流态化超高温杀菌中应用的可行性,需要将该 TTI 运用到食品体系中。但是由于食品种类多样,而单一的食品用于传热过程的研究不具有

代表性,因此需要选择一种能够代表食品物性的载体。高毅对比研究了两种常用食品模拟物,指出魔芋葡聚糖凝胶更适合在固体食品流态化杀菌过程中用作食品模拟物^[19],用魔芋葡聚糖凝胶作为载体,在相同条件下进行固体食品流态化超高温杀菌,以判断该 TTI 是否满足固体食品流态化超高温杀菌的需要。

1 材料与方法

1.1 材料

耐高温 α -淀粉酶:无锡杰能科生物工程有限公司产品;魔芋粉:武汉强森公司提供;K 型热电偶:奥崎自动化仪表设备有限公司产品;毛细管(规格 $D1\text{ mm} \times 100\text{ mm}$)

1.2 试剂

碘、碘化钾,可溶性淀粉:AD,国药集团试剂有限公司产品。

1.3 仪器与设备

固体食品流态化超高温杀菌装置,内附带温度实时监控:江南大学邓力研制;恒温油槽:上海市实验仪器总厂产品;PhS-3C 精密 pH 计:上海雷兹仪器厂产品;紫外分光光度计:尤尼科仪器公司产品;电热恒温水浴锅:上海跃进医疗器械厂产品。

1.4 实验方法

1.4.1 耐高温 α -淀粉酶酶活的测定 耐高温 α -淀粉酶活力定义:1 mL 酶液(或 1 g 固体酶粉)在 pH 6.0,温度 70 °C,1 min 液化可溶性淀粉 1 mg 所需的酶量称为一个酶活力单位。计算式表示如下:

$$\text{酶活力单位} = \frac{\text{淀粉质量} \times \text{酶液浓度}}{\text{反应时间}} \times \text{酶稀释倍数} \quad (1)$$

测定方法:准确吸取 20 mL 质量分数 2% 可溶性淀粉溶液置于试管中,加入 5 mL pH 6.0 缓冲溶液,摇匀后于 70 °C 恒温水浴中预热 5 min,准确加入 1 mL 酶稀释液(酶活力为 60~100 U/mL),立即开始计时,70 °C 恒温水浴中保温酶解反应 5 min 后,迅速取出 1 mL 反应液,置入含有 0.5 mL、0.1 mol/L 盐酸溶液的试管中,终止酶解反应,加入 5 mL 稀碘液,摇匀,同时做空白,在 660 nm 波长下测吸光度(A),查酶浓度(c)与吸光度(A)对照表,求得酶浓度,再乘以稀释倍数即为被测酶样活力。

1.4.2 TTI 的制作 采用 100 μL 的毛细管,使用酒精喷灯烧结一头,待冷却后用微量注射器加入浓酶液,使用冰冻处理的夹具装住装有液体的部分,用酒精喷灯烧结另一头,迅速放入冷藏室,冷藏备

用。

1.4.3 耐高温 α 淀粉酶热失活动力学 在食品加工和贮存过程中,大多数与食品质量有关的品质变化都遵循零级($n=0$)或一级($n=1$)模式^[20-21]。酶的热失活动力学常用 D-Z 模型来表示^[22],其方程表达式为:

$$Z = (T - T_r) / (\lg D_r - \lg D) \tag{2}$$

式中, T 为加热温度,℃; T_r 为参考温度,121.15℃; D 为一定温度下酶浓度减少 90% 所需的时间,min; D_r 为参考温度下的 D 值,min。

D 值与酶浓度之间的关系可以表示为

$$D = t / \lg(N_0/N) \tag{3}$$

式中, t 为加热时间,min; N_0 为初始酶活,U; N 为加热时间 t 时的剩余酶活。

1.4.4 魔芋葡聚糖凝胶载体的制作 魔芋葡聚糖凝胶载体的制作参照文献^[19]。向预热排气后的 200 mL、pH 12.0 的磷酸缓冲溶液中缓慢加入 12 g 魔芋精粉,使得终质量浓度为 6 g/mL,以 400 r/min 的速度于 30℃ 搅拌 10 min,然后置于 90℃ 水浴中保温 2 h 后形成胶体。

1.4.5 验证 TTI 的热动力学模型的方法 将构建的 TTI 放入制作好的魔芋几何中心,用本实验室的超高温流态化杀菌装置^[18],分别按照 95℃ 恒温 5 min、105℃ 恒温 3 min、115℃ 恒温 2 min、125℃ 恒温 1 min 的条件设定杀菌程序,杀菌结束后测定处理后的 TTI 中残留的耐高温 α 淀粉酶酶活,根据耐高温 α 淀粉酶热失活动力学方程计算出理论剩余酶活,将实测酶活与计算酶活进行方差分析比较。

1.5 统计学分析

样品测定,每次至少测定 3 次,采用 ORIGIN 7.5 (OriginLab Inc., 美国) 软件对测定的结果进行单因素方差分析, $p > 0.05$ 表示在 0.05 水平上无显著性差异, $p < 0.05$ 表示在 0.05 水平上有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 耐高温 α 淀粉酶酶活的测定

2.1.1 不同酶浓度下的酶反应进程曲线 分别用不同浓度的酶对淀粉进行不同时间的酶解反应,用分光光度法记录反应终点的吸光度值,用 origin 软件对不同酶浓度及不同反应时间的吸光度值作图得到酶反应进程曲线如图 1 所示。

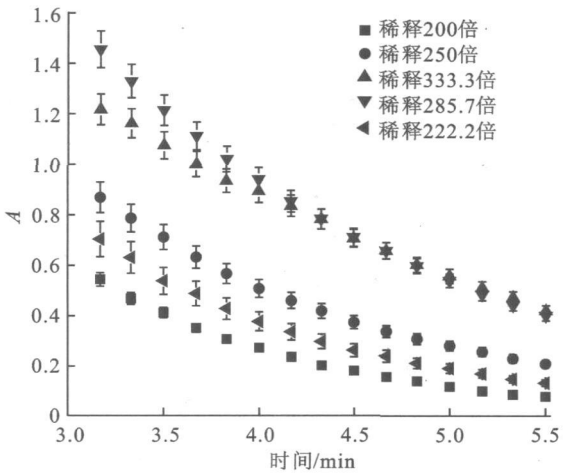


图 1 酶反应进程曲线

Fig. 1 Time reaction curve of enzyme

从图 1 可以看出,在同一酶浓度下,反应时间越长,吸光度值越小,表明酶解淀粉越完全。用 origin 软件对图 1 中的吸光度值取对数并对时间 t 进行线性回归,所得直线的回归方程如表 1 所示。

表 1 酶反应进程回归方程

Tab. 1 Regression equation of enzyme concentration and absorbance			
稀释倍数	编号	回归方程	相关系数 r
333.3	1	$\lg A = 0.884\ 1 - 0.364\ 2\ t$	0.999 2
285.7	2	$\lg A = 0.777\ 6 - 0.266\ 8\ t$	0.999 2
250.0	3	$\lg A = 0.849\ 9 - 0.221\ 6\ t$	0.999 1
222.2	4	$\lg A = 0.790\ 7 - 0.238\ 6\ t$	0.999 2
200.0	5	$\lg A = 0.820\ 8 - 0.310\ 2\ t$	0.999 2

表 1 中每个方程的相关系数 $r > r_{0.001} = 0.597\ 4$, 可以认为 $\lg A$ 与时间 t 呈线性关系,表明耐高温 α 淀粉酶的酶解反应符合一级反应动力学规律。

2.1.2 酶浓度与吸光度关系表的制订 向淀粉体系中加入过量的耐高温 α 淀粉酶使酶解反应进行完全,按照 1.4.1 的酶活测定方法处理后,向反应液中加入稀碘液,此时溶液的颜色为标准色,经测定标准色在 660 nm 处吸光度值为 0.300,故以吸光度值 0.300 作为反应终点标志,将 $A = 0.300$ 代入表 2 方程中,得到不同稀释倍数(即不同酶浓度)的酶反应到达终点所需的时间,再根据(1)式计算出原酶活力,结果如表 2 所示。

对所求得原酶活力求算术平均值作为使用酶的标准酶活力。此时,标准原酶活力对应的时间为 5 min,将 $t = 5\ \text{min}$ 代入表 1 中各方程,计算得到不同酶浓度下反应进行到 5 min 时的吸光度 A 的对

数, 结果见表 3。

表 2 由不同稀释倍数求得的原酶活力

Tab. 2 Enzyme activity from different dilution

稀释 倍数	终点时间/ min	原酶活力/ U	平均酶活/ U
200 0	3. 86	20 725	20 606±44. 210 2
222. 2	4. 33	20 527	
250 0	4. 87	20 534	
285. 7	5. 52	20 703	
333. 3	6. 49	20 542	

表 3 $t=5\text{ min}$ 时酶浓度与吸光度对数的关系

Tab. 3 Relationship between the lg absorbance and enzyme concentration when $t=5\text{ min}$

稀释 倍数	单位酶活力/ (U/ mL)	lg A
200 0	103 627	- 0 936 9
222 2	92 376	- 0 730 8
250 0	82 136	- 0 556 4
285 7	72 464	- 0 402 3
333 3	61. 633	- 0 258 1

将上表中单位酶活力(c) 与反应 5 min 时吸光度对数(lgA) 值进行线性回归, 得回归方程:

表 4 单位酶活力与吸光度关系的验证结果

Tab. 4 Validation of the relationship between unit enzyme activity and absorbency

稀释倍数	5min 时 吸光度(A)	单位 酶活力(C) / U	原酶活力/ U	标准原 酶活力/ U	方差 分析 p 值
500 00	1. 243±0. 009	41. 38±0. 194	20 723. 75±55. 896	20 606±44. 2102	0. 151 5
400 00	0. 845±0. 002	51. 54±0. 063	20 613. 43±14. 723	20 606±44. 2102	0. 909 1
181. 12	0. 083±0. 001	113. 74±0. 323	20 613. 33±14. 723	20 606±44. 2102	0. 909 1

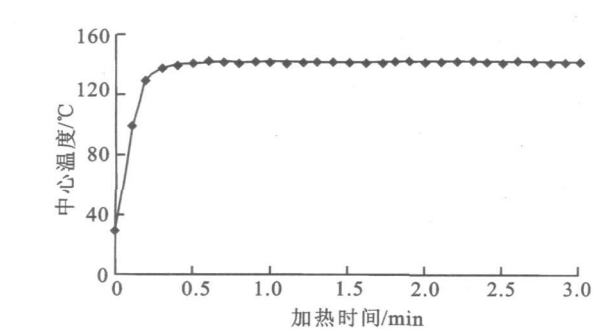


图 2 毛细管中心温度时间曲线

Fig. 2 Heating up curve for the capillary tubes from 30 °C to 140 °C

从图 2 可以看出, 毛细管中心温度升到 140 °C 所需时间不到 0.5 s, 这表明用毛细管包埋指示剂制

$lgA=0.7617-0.0162C$ (4), 相关系数 $r=0.9994$, 表明单位酶活力与吸光度的对数具有良好的线性关系。

2.1.3 对单位酶活力与吸光度关系的验证 将原酶液稀释不同倍数, 按照 2.1 方法测定吸光度值, 将测定结果代入式(4) 计算出单位酶活力, 再乘以稀释倍数计算出原酶活力。用 origin 软件对计算所得原酶活力与标准酶活力进行方差分析, 结果如表 4 所示。

经 T- 检验, p 值全部大于 0.05, 表明在 0.05 水平上, 实验所得原酶活力与标准原酶活力之间无显著性差异, 表明制定的酶浓度与吸光度关系表可靠。

2.2 TTI 指示剂动力学模型的建立 若将 TTI 运用到杀菌过程中进行杀菌效果的指示, 首先必须确定指示剂的热失活动力学参数 D 值及 Z 值。根据动力学方程(式 2、3) 可以看出, 酶失活动力学与加热温度及加热时间密切相关。由于超高温杀菌所用的时间较短(一般不超过 5 min), 要使 TTI 能够准确指示杀菌过程, 则壁材升温所需时间应尽可能的短。采用数学模拟的方法^[18] 对本实验中所用的直径 1 mm 的毛细管材料的升温情况进行计算, 结果如图 2 所示。

作的 TTI 能够超高温杀菌短时的需要。此外还表明在进行热动力学研究时, 可以忽略中心升温所需的时间, 指示剂温度能够瞬间达到热处理介质的处理温度, 因此整个热处理过程可以看做稳态热处理过程。

为构建 TTI 的热失活动力学模型, 作者设计了不同的时间- 温度点对构建的 TTI 进行热处理(见表 5)。

按照 1.4.1 的方法对经热处理的 TTI 进行残余酶活测定, 以时间对横坐标, 相对残余酶活的对数为纵坐标, 绘制对数坐标图如图 3 所示。

表 5 选取的待测时间-温度点列表
Tab.5 List of points of time temperature

温度/ $^{\circ}\text{C}$		保温时间/ s				
80	180	540	900	1 260	1 520	
90	120	360	600	840	1080	
100	60	120	180	240	300	
110	40	80	120	160	200	
120	30	60	90	120	150	
130	20	40	60	80	100	
140	10	20	30	40	50	

致。同时,该结果还表明本实验构建的 TTI 可以用于耐高温 α 淀粉酶的失活动力学研究。

对图 3 进行线性回归,并对所得的方程求反对数,所得趋势线方程如表 6 所示。根据(3)式及表 6 中方程可计算出 D 值。

表 6 不同温度下耐高温 α 淀粉酶的 D 值
Tab.6 D values of α amylase in different temperature

温度/ $^{\circ}\text{C}$	趋势线公式	R^2	D/ min
80	$y = e^{-0.04535x}$	0.988	56.30
90	$y = e^{-0.08702x}$	0.996	37.22
100	$y = e^{-0.167x}$	0.991	10.14
110	$y = e^{-0.03203x}$	0.993	5.71
120	$y = e^{-0.01106x}$	0.993	3.47
130	$y = e^{-0.02022x}$	0.992	1.9
140	$y = e^{-0.02837x}$	0.994	1.35

根据式(2)及表 6,对耐高温 α 淀粉酶 D 值的对数和温度作图,如图 4 所示。

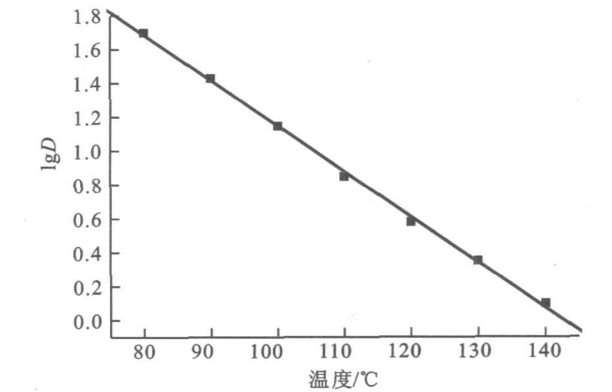


图 4 耐高温 α 淀粉酶的 Z 值曲线
Fig.4 Z values curve of α amylase

对图 3 直线进行线性回归可得到回归方程($R^2 = 0.9942$),对回归方程求反对数即得如下关系式:

$$D = 47.36 \times e^{-0.0272T} \tag{5}$$

根据(2)、(3)、(5)式可计算得出耐高温 α 淀粉酶的 Z 值为 35.34 $^{\circ}\text{C}$ 。Tucker^[11]和 Mehauden^[7]报道的耐高温 α 淀粉酶的 Z 值分别为 23.5 $^{\circ}\text{C}$ 和 25.6 $^{\circ}\text{C}$ 。推测这些差异来自于酶的来源不同或者酶中微量成分的不同。根据 Arrhenius 方程^[22],计算得出耐高温 α 淀粉酶 Ea 值为 63.2 kJ/mol。

2.3 TTI 热动力学模型的验证

将制作好的 TTI 按 1.4.5 的条件进行处理后,按照 1.4.1 的方法测定 TTI 中残留的耐高温 α 淀粉酶酶活。将处理条件中的温度值代入式(5),计算出不同温度下的 D 值,然后再将 D 值代入式(3),

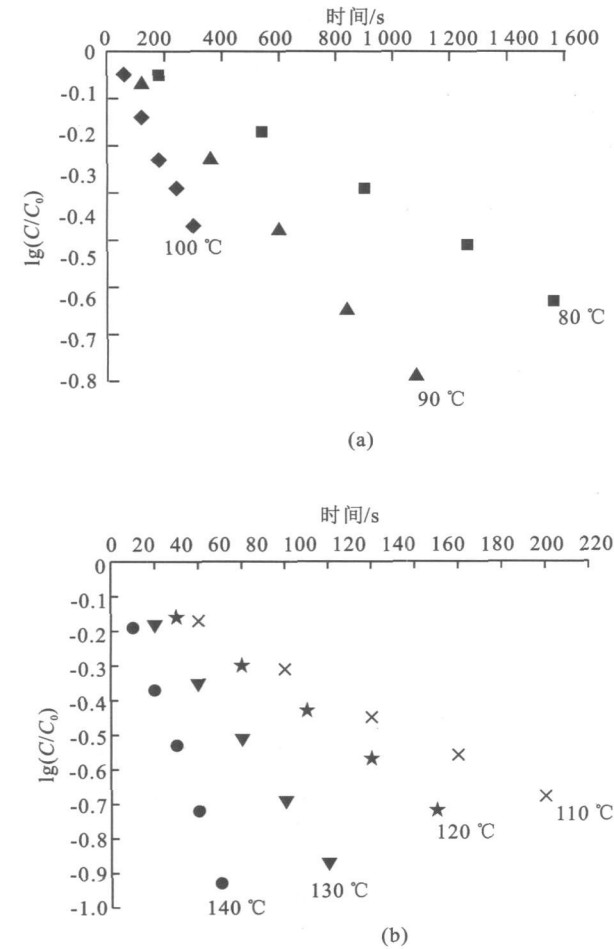


图 3 耐高温 α 淀粉酶时间-残存率曲线(a)(80 $^{\circ}\text{C}$ 、90 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $^{\circ}\text{C}$), (b)(110 $^{\circ}\text{C}$ 、120 $^{\circ}\text{C}$ 、130 $^{\circ}\text{C}$ 、140 $^{\circ}\text{C}$)
Fig.3 Survival curve showing destruction of α amylase with time (a)(80 $^{\circ}\text{C}$ 、90 $^{\circ}\text{C}$ 、100 $^{\circ}\text{C}$), (b)(110 $^{\circ}\text{C}$ 、120 $^{\circ}\text{C}$ 、130 $^{\circ}\text{C}$ 、140 $^{\circ}\text{C}$)

由图 3 可以看出,同一温度下耐高温 α 淀粉酶的酶活损失率(C/C_0)的对数与时间成线性关系,表明耐高温 α 淀粉酶的失活遵循一级动力学规律,这与 Tucker^[11]和 Mehauden^[7]等人的报道结果相一

计算出不同条件下剩余酶活, 结果如表 7 所示。

表 7 TTI 中残留的耐高温 α -淀粉酶酶活实际值和理论计算值

Tab. 7 Predicted and experimental enzyme activity of α amylase in TTI

处理方法	理论酶活/ U	实测酶活/ U
95 ℃、 5 min	11 162.3	11 153.2± 85.3
105 ℃、 3 min	10 356.7	10 360± 56.0
115 ℃、 2 min	8 742.0	8 748.0± 66.3

统计学分析表明, 理论酶活与实测酶活之间无显著性差异, 表明构建的 TTI 热动力学模型适用于固体食品流态化超高温杀菌的时间-温度检测。

3 结 语

选择耐高温 α -淀粉酶作为指示剂, 使用毛细管胶囊包埋技术构建了 TTI, 并对该 TTI 建立了耐高温 α -淀粉酶的热失活动力学模型。热动力学分析表明耐高温-淀粉酶的热失活遵循一级动力学规律, 动力学参数 Z 值为 35.34 ℃、Ea 值为 63.2 kJ/mol。为验证该模型在实际生产中的适用性, 以最新的食品模拟物为载体, 通过固体食品流态化超高温杀菌装置对构建的 TTI 进行热处理, 将实验结果与理论计算结果进行对比, 验证热动力学模型的准确性。统计学分析显示, 实验结果与理论结果之间无显著性差异, 表明 TTI 热动力学模型可以用于固体食品流态化超高温杀菌中用作杀菌过程时间-温度的适时检测。

参考文献(References):

[1] Awuah G B, Ramaswamy H S, Economides A. Thermal processing and quality: Principles and overview[J]. **Chemical Engineering and Processing**, 2007, 46: 584– 602.

[2] Saravacos G D, Kostaropoulos A E. Engineering properties in food processing simulation[J]. **Computers and Chemical Engineering**, 1996, 20(1): 461– 466.

[3] Campanone L A, Zaritzky N E. Mathematical analysis of microwave heating process[J]. **Journal of Food Engineering**, 2005, 69: 359– 368.

[4] Ibarrola J J, Guillh J C, Sandoval J M, et al. Modelling of a high temperature short time pasteurization process[J]. **Food Control**, 1998, 9(5): 267– 277.

[5] Mehauden K, Bakalis S, Cox P W, et al. Use of Time Temperature Integrators for determining process uniformity in agitated vessels[J]. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2007, 8: 507– 514.

[6] Claeys, W L, Van loey A, Hendrickx M. Intrinsic time temperature integrators for heat treatment of milk[J]. **Trends in Food Science and Technology**, 2002, 13(9): 293– 311.

[7] Mehauden K, Cox P W, Bakafis S, et al. A novel method to evaluate the applicability of time temperature integrators to different temperature profiles[J]. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2007, 8(4): 507– 514.

[8] Van loey A, Hendrickx M, DeCordt S, et al. Quantitative evaluation of thermal process using time temperature integrators[J]. **Trends in food science and technology**, 1996, 7: 16– 26.

[9] Guiavarch Y, Loey A V, Zuber F, et al. Bacillus licheniformis α amylase immobilized on glass beads and equilibrated at low moisture content: potentials as a Time Temperature Integrator for sterilisation processes[J]. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2004, 5: 317– 325.

[10] Weng Z, Hendrickx M, Maesmans G, et al. Immobilized peroxidase: A potential bioindicator for evaluation of thermal process[J]. **Journal of Food Science**, 1991, 56(2), 567– 570.

[11] Tucker G S, Brown H M. A sterilisation Time Temperature Integrator based on amylase from the hyperthermophilic organism Pyrococcus furiosus[J]. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2007(8): 63– 72.

[12] Bobelyn E, Hertog M L A T M, Nicolai B M. Applicability of an enzymatic time temperature integrator as a quality indicator for mushrooms in the distribution chain[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2006, 42(1): 104– 114.

[13] Giannakourou M C, Koutsoumanis K, Nychas G J E, et al. Field evaluation of the application of time temperature integrators for monitoring fish quality in the chill chain[J]. **International Journal of Food Microbiology**, 2005, 102(3): 323–

336.

- [14] Taoukis P S, Labuza T P. Reliability of time temperature indicators as food quality monitors under nonisothermal conditions[J]. **Journal of Food Science**, 1989, 54: 789– 792.
- [15] Tucker G S, Lambourne T, Adams J B, et al. Application of a biochemical time temperature integrator to estimate pasteurisation values in continuous food processes[J]. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 2002, 3(2): 165– 174.
- [16] Hendrickx M, Weng Z, Maesmans G, et al. Validation of a time temperature integrator for thermal processing of foods under pasteurization conditions[J]. **International Journal of Food Science and Technology**, 1992, 27: 21– 31.
- [17] 蔡华伟,任发政.“时间-温度指示卡”的研究与应用[J]. 肉类研究, 2006, 2: 49– 52.
CAI Huawei, Ren Fazheng. Research and application of “Time Temperature Indicator”[J]. **Meat Research**, 2006, 2: 49– 52. (in Chinese)
- [18] 邓力. 固体食品流态化超高温杀菌技术研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006.
- [19] 高毅, 邓力, 金征宇. 对魔芋葡甘聚糖凝胶——一种新型食品模拟的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(5): 107– 112.
GAO Yi, Deng Li, JIN Zhengyu. Study on a new food model system konjac glucomannan gel[J]. **Science and Technology of Food Industry**, 2007, 28(5): 107– 112. (in Chinese)
- [20] Rao M A, Lee C Y, Katz J, et al. A kinetic study of loss of vitamin C, color, and firmness during thermal progressing of canned peas[J]. **Food Science**, 1981, 46: 636.
- [21] Anthon G E, Barrett D M. Kinetic parameters for the thermal inactivation of quality related enzymes in carrots and potatoes[J]. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, 2002, 50: 4119– 4125.
- [22] Fujikawa H, Itoh T. Thermal inactivation analysis of mesophiles using the Arrhenius and Z-value models[J]. **Journal of Food Protect**, 1998, 61(7): 910– 912.

(责任编辑: 朱明)

《食品与生物技术学报》征稿、征订启事

《食品与生物技术学报》(双月刊) 是教育部主管、江南大学主办的有关食品科学与工程、生物技术与发酵工程及其相关研究的专业性学术期刊, 为 CSCD 核心期刊、全国中文核心期刊、中国科技核心期刊、中国期刊方阵双效期刊, 目前被美国化学文摘(CA) 等国内外 10 余家著名检索系统收录。主要刊发食品科学与工程, 食品营养学, 粮食、油脂及植物蛋白工程, 制糖工程, 农产品及水产品加工与贮藏, 动物营养与饲料工程, 微生物发酵, 生物制药工程, 环境生物技术等专业最新科研成果(新理论、新方法、新技术) 的学术论文, 以及反映学科前沿研究动态的高质量综述文章等, 供相关领域的高等院校、科研院所、企事业单位的教学、科研等专业技术人员、专业管理人员以及有关院校师生阅读, 热忱欢迎广大读者订阅。

《食品与生物技术学报》, 双月刊, A4(大 16K) 开本, 160 页, 全年 6 期, 每册定价 15. 00 元, 邮发代号: 28– 79, 全国各地邮局均可订阅。

《食品与生物技术学报》编辑部