

文章编号: 1674 - 5566(2011)01 - 0137 - 07

含果粒液体食品微波杀菌动力学模型的比较研究

李卓思, 程裕东, 杨晓敏, 郭媛菁

(上海海洋大学 食品学院, 上海 201306)

摘要: 为了描述微波处理下微生物致死动力学的变化规律,以含柑橘果粒的含糖液体作为对象,并分别接种了单增李斯特菌和大肠杆菌,选用 800 W 微波功率对样品进行杀菌处理,考察其杀菌效果。分别应用一级动力学模型、Weibull 模型、Log-Logistics 模型和 Dose-Response 模型对微波处理条件下两种微生物的失活曲线进行动力学分析。结果表明:微波加热 40 s 过程中,大肠杆菌和单增李斯特菌的活菌数迅速下降,分别下降了 2.5 和 3.5 个对数值数量级,两者的热敏感性不同,杀菌过程中致死速率存在差异,两者失活曲线形状较为相似,加热初始活菌数下降缓慢,当温度达到 60 ℃ 时迅速下降,当温度超过 100 ℃ 时,致死速率逐渐趋缓。一级动力学模型不能用于描述微波杀菌下两种微生物致死规律。Weibull 模型、Log-Logistics 模型和 Dose-Response 模型均能较好的拟合微波处理下两种微生物的失活曲线,用五个模型评价参数精确因子、偏差因子、根平均方差、根平方和以及决定系数综合分析比较了不同数学模型的拟合程度,Dose-Response 模型能最好的拟合单增李斯特菌的失活曲线,Log-Logistic 模型能最好地拟合微波杀菌条件下大肠杆菌的失活曲线。

研究亮点: 以颗粒与液体共存的多组分复杂体系为对象,探讨了微波加热对食品系统的杀菌效果和机理,并通过拟合优度比较分析,建立了微波杀菌条件下描述含果粒液体食品中大肠杆菌和单增李斯特菌的致死动力学的最佳数学模型。

关键词: 微波; 模型分析; 含果粒液体食品; 单增李斯特菌; 大肠杆菌

中图分类号: TS 255.3

文献标识码: A

微波技术在食品杀菌领域的有效应用,受到国内外研究者的关注和重视。目前,已有在苹果汁^[1]、苹果酒^[2]、番茄汁^[3]等中应用微波杀菌的研究报道。微生物杀菌动力学是研究杀菌技术的关键理论之一,可用其对杀菌技术的实际应用进行风险评估。目前关于微波杀菌动力学模型的研究很少^[4],因此寻找可靠的数学模型,用以描述微波处理中微生物的致死动力学,是微波杀菌技术有待研究的重要内容。

近年,将水果果粒、果肉加入到饮料、优酪乳、酒中制成的加工食品越来越受到人们的欢迎,但此类食品属颗粒与液体共存的多组分复杂系统^[5-7],具有诸多特殊性。采用微波对此类食品进行杀菌处理^[8],可提高杀菌效率,并较好地

保持了食品品质。因此,本研究对分别接种了大肠杆菌 (*E. coli*, G^-) 和单增李斯特菌 (*L. monocytogenes*, G^+) 的含柑橘果粒的含糖溶液进行微波杀菌处理,应用既有的 4 种微生物动力学模型对两种微生物的失活曲线进行动力学分析,并对模型拟合的优劣程度进行比较,以期得到该介质条件下描述微生物杀菌动力学的最优模型,为微波杀菌技术的实际应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

菌种:单增李斯特菌、大肠杆菌由上海海洋大学食品学院微生物研究室提供。

培养基:营养肉汤、营养琼脂、胰酪胨大豆肉

收稿日期: 2010-09-10 修回日期: 2010-11-01

基金项目: 上海市科学技术委员会攻关项目[2006 第 9317 号(2)]

作者简介: 李卓思(1986-),女,硕士研究生,专业方向为食品微波杀菌。E-mail:zhuosi-001@hotmail.com

通讯作者: 程裕东,Email: ydcheng@shou.edu.cn

汤(TSB)、胰酪胨大豆琼脂(TSA)、伊红美蓝琼脂购自国药集团化学试剂有限公司。

仪器:MWS 微波工作站 加拿大 FISO 技术公司;THERMIC MODEL 2100A 热电偶测温仪 ETO DENKI 公司;PHB-9901pH 计 上海艾旺工贸有限公司;BS2000S 电子天平 Sartorius 公司;SW-CJ-1F 超净工作台 苏州安泰空气技术有限公司;DNP-9082 电热恒温培养箱 上海精宏实验设备有限公司;涡旋混合仪 上海沪西分析仪器厂;GL-21M 高速冷冻离心机 湘仪离心机仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 含果粒液体样品

购于上海乐购超市的新鲜芦柑,选择成熟度均一、形态良好的果实,用自来水冲洗 2~3 遍,沸水热烫去皮去络并分瓣,酸碱法去囊衣、心衣、籽,搅拌分开柑橘粒胞、用 0.5% CaCl₂ 硬化,沥干,洗净后得到柑橘果粒,并加入与粒胞汁液糖度相近的含糖溶液(百利糖度是 8±0.5°)以减少粒胞膜两侧水分的迁移^[9],并用柠檬酸调节 pH 为 3.0~3.5。将柑橘果粒和含糖溶液装入 30 mL 聚乙烯塑料试剂瓶中,样品固形物含量条件为 40%(10 g 粒胞,15 mL 糖液),121 °C 灭菌 15 min 后,4 °C 冷藏备用。样品的初始温度设定为 20±1 °C。

1.2.2 微生物接种方法

斜面保藏的菌种,经斜面转接活化,挑取活化后的菌种转接至肉汤液体培养基中,37 °C、150 r/min 摇床培养 18 h 后,将培养好的菌液于 4 000 r/min 冷冻离心 15 min,离心得到的菌体,用无菌生理盐水洗涤两次后,制成菌悬液,含量为 10⁸~10⁹ cfu/mL,把用聚乙烯试剂瓶盛装的已灭菌过的含果粒含糖溶液分为 2 组,在 2 组中分别添加了李斯特菌和大肠杆菌的菌悬液制成两个实验样品,使得其中微生物含量为 10³~10⁴ cfu/mL,在 20 °C 恒温培养箱中放置 3 h 使样品中的微生物分布均匀,待用。

1.2.3 杀菌处理

将样品置于微波炉转盘中心进行加热处理,微波炉功率选择 800 W,分别对样品进行 10、20、30、35、40 s 的加热处理,加热后迅速置于冰水浴中冷却 15 min,分别测定初始及各加热处理时间下的残菌数。

1.2.4 微生物数量的检测

采用涂布平板计数法,使用伊红美蓝琼脂培养基,37 °C 培养 48 h,检测大肠杆菌数量。使用胰酪胨大豆琼脂培养基,37 °C 培养 48 h,检测单增李斯特菌数量。

1.2.5 升温曲线的测定

将样品置于微波工作站的加热腔内转盘中央,并将光纤温度探头插入在样品中心所定位置,在微波加热过程中每隔 0.45 s 测定并记录一次温度数据,精确度为 ±0.5 °C。

1.2.6 微生物残活率计算

杀菌效果用微生物残活率表示,计算公式^[10]是:

$$\lg S = \lg(N/N_0) \quad (1)$$

式中: N_0 为杀菌处理前样品中的菌落总数(cfu/mL); N 为杀菌处理后样品中的菌落总数(cfu/mL); $\lg S$ 为杀菌处理前后菌落总数降低的对数。

1.3 数学模型

1.3.1 一级动力学模型

该模型认为微生物残活率和处理时间是成线性关系^[11]:

$$\lg S = -\frac{t}{D} \quad (2)$$

式中: D 为杀灭 90% 微生物所需要的时间(s); t 为处理时间(s)。

1.3.2 Weibull 模型

Peleg 和 Cole^[12] 等认为微结构的灭活曲线是一个累积函数,并应用 Weibull 分布来描述它,Weibull 模型适用于描述非等温热处理下微生物的致死规律,模型假设菌体间的热抗性有差别且符合 Weibull 分布,因此残存曲线符合累积分布函数:

$$\lg S = -b(t)^n \quad (3)$$

式中: b 和 n 分别是比例因子和形状因子。

1.3.3 Log-Logistic 模型

该模型是 Cole 等提出^[13]:

$$\lg S = \vartheta + \frac{\varpi - \vartheta}{1 + \exp \frac{4\sigma(\tau - \lg t)}{\varpi - \vartheta}} \quad (4)$$

式中: σ 为上渐近线,lg(cfu/mL); ϖ 为下渐近线,lg(cfu/mL); ϑ 为失活曲线的最大斜率; τ 为失活曲线达到最大斜率时的数量级时间(lg μ s)。

1.3.4 Dose-response 模型

剂量响应模型是源于研究某种药物剂量对实

验动物组的存活率的影响,该模型的公式如下:

$$\lg S = A_1 + \frac{A_2 - A_1}{1 + 10^{(\lg x_0 - t)P}} \quad (5)$$

式中: τ ——暴露时间(s)。

1.4 数据统计分析

用 OriginPro 8.0 软件对所得数据进行拟合分析并作图,得到在微波加热过程中,随着时间和温度变化的动力学方程。对于所得模型通过 Af 、 Bf 、 SS 、 $RMSE$ 、 R^2 五个参数定量的评价模型的拟合程度^[14],其中 Af 表示精确因子,表示预测值和实测值的偏离度,当 Af 值越小表明模型的预测值和实测值越接近。而 Bf 是偏差因子, $Bf > 1$ 时,实测值大于预测值,当 $Bf < 1$ 时,实测值小于预测值, $Bf = 1$ 时,实测值等于预测值,因此 Bf 越接近 1,模型的拟合度越高。 $RMSE$ 是根平均方差, $RMSE$ 表示模型的可靠度,其越小模型的拟合度越高。 SS 是根平方和, SS 越小,模型的精确度越高。公式表示如下:

$$Y_{Af} = 10^{(\sum \lg(X_P/X_M))/n} \quad (6)$$

$$Y_{Bf} = 10^{(\sum \lg(X_P/X_M))/n} \quad (7)$$

$$Y_{BMSE} = \sqrt{\frac{\sum (X_M - X_P)^2}{n - 1}} \quad (8)$$

$$Y_{SS} = \sum (\ln(X_M/X_P))^2 \quad (9)$$

式中: X_P 为预测值; X_M 为实测值; n 为实测值的个数。实测值和预测值分别是实验中测得的 LgS 值和用各模型预测所得的 LgS 值。

2 结果与分析

含有大肠杆菌和单增李斯特菌的 30 mL 样品在 800 W 微波处理下,样品的残菌数随时间的延长和温度的升高,其变化曲线如图 1 所示。样品升温曲线呈线性,对其进行回归分析,得到线性方程 $y = 2.068x + 19.905$, $R^2 = 0.9943$ 。微波条件下样品升温迅速,在 40 s 时即可达到 100 °C 的温度。在微波加热过程中,随着处理时间的延长,微生物的残菌数也迅速减少。微波加热过程中,大肠杆菌和单增李斯特菌对微波杀菌的敏感性存在差异,当加热到 25 s 时,单增李斯特菌的抗热性大于大肠杆菌,但当加热到 35 s 后,其敏感性又大于大肠杆菌。微波杀菌对微生物的致死作用以热效应为主^[15]。在本研究中,两种微生物失活曲线的差异是由于两者的热敏感性不同而

引起的,根据杭锋等^[16]的研究,由于革兰氏阳性菌和阴性菌的细胞壁构造存在不同,在相同温度条件下,两者的蛋白质与胞内核酸的变性程度差异明显,致死率存在差别。

如图 1 所示,两种微生物的失活曲线的形状较为相似,在加热初始阶段 0 ~ 10 s 之间,菌落总数的致死速率没有明显的下降,10 ~ 20 s 时,致死速率开始缓慢增加,当加热 20 s,温度达到 60 °C 左右时,微生物的致死速率开始明显增加,当加热到 35 s 杀菌后段时,致死速率有减小的趋势。

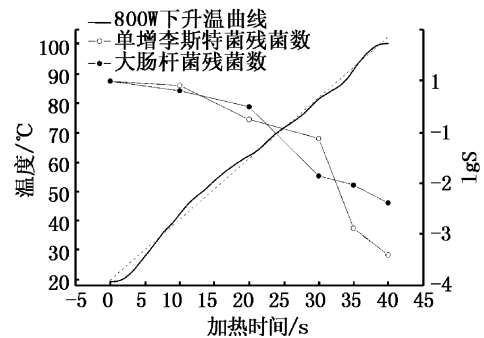


图 1 单增李斯特菌和大肠杆菌在微波场中随温度和时间变化的曲线

Fig. 1 The relationship of bacterial quantity reduction \log of *E. coli* and *L. monocytogenes* with treatment temperature and time by microwave processing

采用四种微生物致死动力学模型,对微波杀菌条件下,单增李斯特菌和大肠杆菌随时间变化的失活曲线进行回归拟合。如图 2 所示,并求得不同模型的方程参数值,如表 1 所示。

一级动力学模型是至今最为经典的杀菌模型,用以描述微生物残活率与处理时间的关系。用一级动力学模型对微波杀菌过程中的微生物失活曲线进行回归拟合,得到图 2-a 所示的曲线,由图可知,失活曲线的形状不是对数线性的,用一级动力学模型描述的单增李斯特菌和大肠杆菌的失活曲线得到的回归方程其决定系数 R^2 为 0.780 和 0.895,回归系数较低,微波加热对这两种微生物的致死规律不符合一级动力学方程。在微波杀菌过程中由于菌体之间本身的耐热性以及菌体对微波的敏感性存在差异,因此不能将其致死速率同一,用一级动力学模型不适于描述微波处理条件下的微生物致死规律。

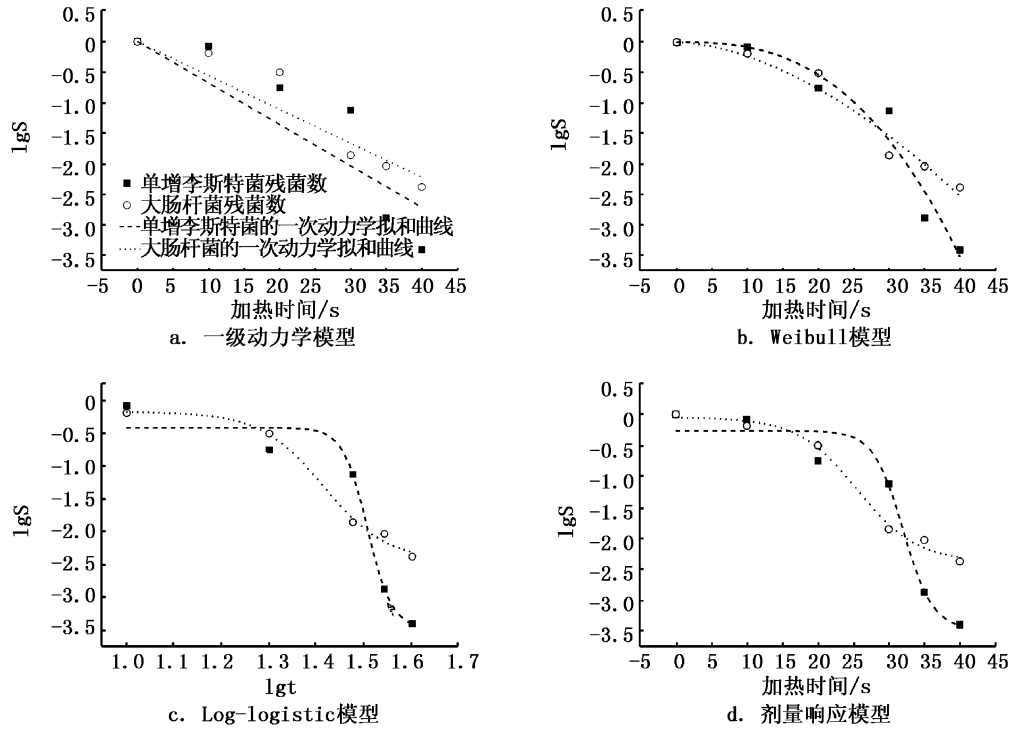


图 2 4 种数学模型回归拟合微波加热条件下单增李斯特菌和大肠杆菌的动力学失活曲线

Fig. 2 Survival rates profiles of microbe treated by microwave fitted with four mathematics models

表 1 数学模型分析微生物杀灭效果的动力学参数

Tab. 1 Kinetics parameters calculated by four mathematics models for the survival rates of microbe treated by microwave

微生物	一级动力学模型		Weibull 模型			Log-Logistic 模型					Dose-response 模型				
	D	R^2	b	n	R^2	ω	θ	τ	σ	R^2	A_1	A_2	$Logx_0$	P	R^2
单增李斯特菌	14.773	0.780	0.00015	2.726	0.942	-0.414	-3.476	1.508	-29.764	0.890	-3.480	-0.269	32.045	-0.208	0.920
大肠杆菌	18.069	0.895	0.00437	1.723	0.956	-0.173	-2.440	1.415	-8.464	0.976	-2.381	-0.050	25.525	-0.103	0.983

用 Weibull 数学模型对微生物的失活曲线进行回归拟合,其曲线如图 2-b 所示,对两种微生物的失活曲线进行拟合得到的回归方程决定系数 R^2 在 0.942 以上,表明 Weibull 模型较好的拟合了微波杀菌条件下单增李斯特菌和大肠杆菌的失活曲线。 b 因子通常被认为是速率常数,而 n 因子通常表示失活曲线的形状, $n < 1$ 时失活曲线是凹面, $n > 1$ 时失活曲线是凸面, $n = 1$ 时失活曲线是直线,即一级动力学方程^[14]。本研究中的 $n > 1$ 与曲线图中的凸面吻合。根据 Corradini 和 Peleg 的研究^[17] 热杀菌条件下的李斯特菌死亡规律符合 Weibull 模型,传统恒温 52.5 °C 热杀菌条件下,李斯特菌的失活曲线也成凸面,在恒温 65 °C 时,其失活曲线接近线性,微波条件下李斯特菌的失活曲线确与较低热杀菌条件下的失

活曲线一致,这可以说明,虽然微波杀菌虽然使得样品温度在 40 s 内即上升到 100 °C,但其累积的热效应相当于较低温度热杀菌的效应,更有利于样品品质的保持,同时,Corradini 和 Peleg 的研究中恒温 52.5 °C 热杀菌当残菌数下降 3.5 个对数级时,需要 150 min,与此相比,微波杀菌在杀菌效率上也具有明显的优势。

用 Log-logistic 模型对微生物失活曲线进行拟合如图 2-c 所示,对于单增李斯特菌回归方程的决定系数 R^2 仅为 0.890,拟合度较低,但对于大肠杆菌的 R^2 为 0.972,拟合度较好,因此 Log-Logistic 模型较适合描述大肠杆菌的致死动力学。

剂量响应模型,又称为暴露响应模型,描述了一个生物体被人为的暴露在不同环境(药物剂量、化学刺激、压力、温度、辐射强度等)下一定的

时间后,所引起的改变和效应,包括生物体生理生化变化,甚至死亡。常用于食源性病原菌在食品供给链和不同环境下的健康风险评估。本研究中,将微生物暴露于微波条件下一段时间,将这段时间发生的效应定量化,用剂量响应数学模型对微生物失活曲线进行拟合,拟合结果如图 2-d 所示,对单增李斯特菌和大肠杆菌拟合得到的回归方程的决定系数 R^2 分别为 0.920 和

0.983,发现对单增李斯特菌拟合度较高,因此可以用该模型描述微波处理条件下单增李斯特菌的致死动力学。

为了比较由曲线所得的实测值和预测值的接近程度,以微生物残活率实测值为横坐标,预测值为纵坐标作图,如图 3 所示,并进行线性回归拟合得到回归方程的决定系数 R^2 。

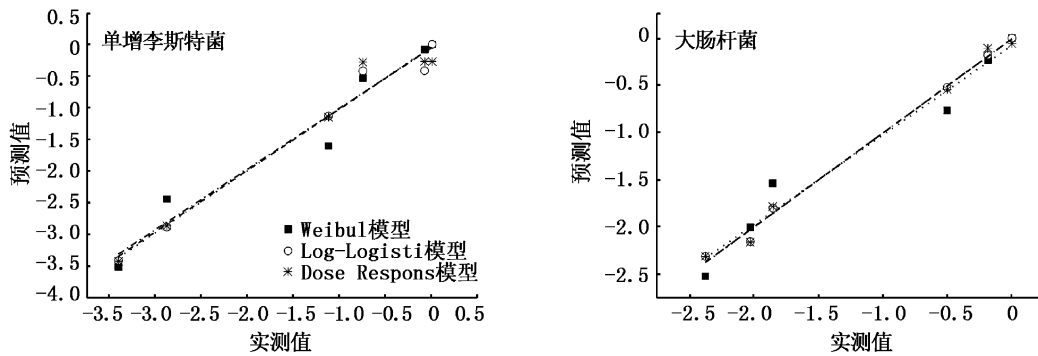


图 3 微波杀灭单增李斯特菌效果的预测值和实测值的相关性

Fig. 3 Correlation between the predicted value and measured value for inactivation effects of *L. monocytogenes* and *E. coli* by microwave heating

表 2 数学模型评价参数的比较

Tab. 2 Comparison of the evaluation indices of mathematics model

模型	菌株	拟合方程	Y_{Af}	Y_{Bf}	Y_{SS}	Y_{RMSE}	R^2
Weibull 模型	单增李斯特菌	$y = -0.044 + 0.958x$	1.564	1.233	3.039	0.310	0.942
	大肠杆菌	$y = -0.077 + 0.946x$	1.194	1.099	0.255	0.197	0.956
Log-Logistic 模型	单增李斯特菌	$y = -0.030 + 0.978x$	1.564	1.233	3.039	0.211	0.973
	大肠杆菌	$y = -0.005 + 0.996x$	1.043	0.995	0.010	0.068	0.995
Dose-Response 模型	单增李斯特菌	$y = -0.044 + 0.968x$	1.562	1.048	2.440	0.257	0.960
	大肠杆菌	$y = -0.008 + 0.993x$	1.194	0.910	0.255	0.087	0.991

实测值和预测值的一致性越好,则其关系曲线的斜率就越接近 1,由图 3 可知,实测值与三种模型所得的预测值的关系曲线斜率均接近 1。表 2 列出了三种模型的评价参数 Af 、 Bf 、 SS 、 $RMSE$ 以及 R^2 。通过对这五个评价参数,对三种模型的拟合优度进行比较分析。由表 3 可知,对于单增李斯特菌而言,和 Dose-Response 及 Weibull 模型相比 Log-Logistic 模型的决定系数较高,且 $RMSE$ 值较小,该模型可靠度较其他两个模型高。但 Dose-Response 模型的 Af 、 SS 均小于其他两个模型,且 Bf 最接近 1,其实测值与预测值最为接近,精确度和拟合度较高,因此,整体而言,选择 Dose-Response 模型可以较好的描述单增李斯特

菌的致死动力学。对于大肠杆菌,Log-Logistic 模型的 Af 、 SS 、 $RMSE$ 均小于其他两个模型的参数,且 Bf 最接近 1, R^2 值也较高,因此选择 Log-Logistic 模型能够最好的模拟微波杀菌条件下大肠杆菌的失活曲线。

3 结论与讨论

微波杀菌条件下,单增李斯特菌和大肠杆菌对微波和热的敏感性不同导致微生物致死率不同,因而其失活曲线存在差异,失活曲线都有一个肩(平缓开始阶段)或者尾巴,微波杀菌条件下的微生物失活曲线不符合一级反应动力学,Weibull 模型、Dose-Response 模型、Log-logistic 模

型都能较好的模拟微波条件下的微生物的失活曲线,根据比较分析,在含果粒含糖溶液介质中,Dose-Response模型可以较好的拟合单增李斯特菌的失活曲线,Log-Logistic模型可以较好的拟合大肠杆菌的失活曲线。

关于微波杀菌动力学模型的研究较少,FUJIKAWA等^[18]研究发现微波杀菌对大肠杆菌的致死动力学不符合一级动力学模型。杭锋^[4]等人发现微波杀菌对水中的大肠杆菌和金黄色葡萄球菌的致死动力学符合Logistic模型,本研究中大肠杆菌的致死动力学符合Log-logistic模型,由此流动系介质中大肠杆菌的失活曲线可以用Log-Logistic模型模拟。但对于微波杀菌条件下金黄色葡萄球菌和单增李斯特菌等革兰氏阳性菌的动力学数学模型评价不一,因此还需要进一步的研究。根据钟葵等^[14]、RASO等^[19]对高压脉冲电场处理下杀菌动力学模型的研究,发现Log-Logistic模型很好的拟合了高压脉冲电场处理下微生物的失活曲线。Log-logistic模型的拟合是基于微生物对外界处理的敏感性的不同,可能由于微生物对电场强度存在敏感性分布,由此用Log-Logistic模型可以描述这类电场处理条件下的微生物的致死规律。

本研究的结果丰富了微波杀菌理论研究的数据,但是仅选择含有果粒的液体食品中的两种微生物进行了微波杀菌实验,因此,对模型的适用性还需要在不同微波处理条件下、选择不同介质条件、不同微生物以及微生物的初始量等条件下进行更广泛的研究。

参考文献:

- [1] JUAN A C, JOSE'E C, JOHANNES D B, *et al.* Pasteurization of apple juice by using microwaves [J]. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 2002,35(5):389-392.
- [2] GENTRY T S, ROBERTS J S. Design and evaluation of a continuous flow microwave pasteurization system for apple cider[J]. *Lwt-food Science and Technology*, 2005,38(3):227-238.
- [3] 刘世雄,李卓思,程裕东. 2450MHz 频率微波加热条件下番茄汁杀菌特性的研究[J]. *食品科学*, 2008,29(9):249-253.
- [4] 杭锋,陈卫,陈帅,等. 食品微波加热杀菌动力学描述模型的选择[J]. *农业工程学报*, 2008,24(6):49-52.
- [5] 邓力,金征宇. 液体-颗粒食品无菌工艺的研究进展[J]. *农业工程学报*, 2004,20(5):12-21.
- [6] 王奇志,酒井昇,三堀友雄. 固液混合缶詰内の液体の流れと温度分布[J]. *日本食品科学工学会誌*, 2000,47(5):355-362.
- [7] 周亚军,殷涌光,于庆宇,等. 含颗粒液态食品通电加热加工特性及影响因子[J]. *食品与发酵工业*, 2003,29(7):75-78.
- [8] LAU M H, TANG J. Pasteurization of pickled asparagus using 915MHz microwaves[J]. *Journal of food Engineering*, 2002,51(4):283-290.
- [9] 吴光旭,张长峰,李燕. 蜜柚果粒悬浮饮料的研究[J]. *食品科技*, 2005(5):42-44.
- [10] 姜斌,胡小松,廖小军,等. 超高压对鲜榨果蔬汁的杀菌效果[J]. *农业工程学报*, 2009,25(5):234-238.
- [11] SCHAFFNER D W, LABUZA T P. Predictive microbiology: where are we, and where are we going[J]. *Food Technol*, 1997,51(4):95-99.
- [12] PELEG M, COLE M B. Reinterpretation of microbial survival curves[J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 1998,38(5):353-380.
- [13] COLE M B, DAVIES K W, MUNRO G, *et al.* A Vitalistic model to describe the thermal inactivation of *Listeria monocytogenes*[J]. *Journal of Industrial Microbiology*, 1993,12:232-239.
- [14] 钟葵,吴继红,廖小军,等. 高压脉冲电场对植物乳杆菌的杀菌效果及三种模型比较分析[J]. *农业工程学报*, 2006,22(11):238-243.
- [15] 杨国峰,周建新. 食品微波杀菌有关问题的探讨[J]. *食品科学*, 2006,27(10):593-596.
- [16] 杭锋,陈卫,陈帅,等. 微波加热对大肠杆菌与金黄色葡萄球菌蛋白质与核酸变性的影响[J]. *食品与机械*, 2008,24(5):12-15.
- [17] CORRADINI M G, PELEG M A. Weibullian model for microbial injury and mortality [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2007,119(3):319-328.
- [18] FUJIKAWA H, USHIODA H, KUDO Y. Kinetics of *Escherichia coli* destruction by microwave irradiation [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1992,58(3):920-924.
- [19] RASO J, ALVAREZ I, CONDON S, *et al.* Predicting inactivation of *Salmonella senftenberg* by pulsed electric fields [J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2000,1(1):21-29.

Comparison and analyses of inactivation kinetics models for microwave inactivation of two foodborne pathogens in liquid food containing fruit particles

LI Zhuo-si, CHENG Yu-dong, YANG Xiao-min, GUO Yuan-jing

(College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: In order to describe microbial death kinetics under microwave treatment, the sugar solution with orange particles was used as the research material. As the sample, *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* were suspended in sugar solution with orange particles. Two samples were exposed to microwave at 800W for 40 s, the bactericidal effect was evaluated. Linear, Weibull, log-logistic and Dose-Response functions were used to model survival curves of two pathogens in sample. The results showed that a treatment of 800W for 40s reduced the counts of *Escherichia coli* by 2.5 log₁₀ and *Listeria monocytogenes* by 3.5 log₁₀. Since the thermal sensitivity of two foodborne pathogens is different, the death rates of two foodborne pathogens were different in sterilization process. Both the survival curves showed a slow initial drop in bacterial counts followed by rapid drop when the treatment temperature to 60 °C, the last tailing tail was caused by a diminishing inactivation rate. First order kinetic model can not be used to describe the law of microbial death under microwave sterilization. Weibull model, Log-Logistics Model and Dose-Response model all can better fit the inactivation of microorganisms. However, five model parameters were used for evaluating the stand or fall of model, the comparison of these indices indicates that Dose-Response model consistently produced better fits to inactivation data of *Listeria monocytogenes* than others. And Log-Logistic model had better fitting degree for *Escherichia coli* than others.

Key words: microwave; model analysis; liquid food containing fruit particles; *Listeria monocytogenes*; *Escherichia coli*