文章编号：1000-5773(2010)02-0136-07

热压协同处理对接种于鸡腿菇中的细菌芽孢灭活效果的影响*

王标诗[1]，李汴生[2]，曾庆孝[2]，黄 娟[2]，阮 征[2]，李 琳[2]

(1. 湛江师范学院化学科学与技术学院，广东湛江 524048；
2. 华南理工大学轻工与食品学院，广东广州 510640)

摘要：以鸡腿菇为原料，以凝结芽孢杆菌芽孢和嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢为对象菌，研究中温与超高静压协同处理条件下两种对象菌的灭活效果及其相应的动力学变化趋势。研究结果表明：在相同条件下，鸡腿菇中凝结芽孢杆菌芽孢的致死效果优于嗜热脂肪芽孢杆菌；接种于鸡腿菇中的两种对象菌芽孢致死效果均低于磷酸缓冲液中的效果，说明鸡腿菇对这两种细菌芽孢有一定的保护作用。利用线性模型、Weibull 模型和 Log-logistic 模型，对鸡腿菇中两种对象菌芽孢的灭活效果进行拟合，以均方差和回归系数为评价指标，分析了 3 种模型的拟合效果。结果表明：在所研究的条件下，Log-logistic 模型的拟合效果最好，Weibull 模型次之，线性模型最差。因此可以通过 Log-logistic 模型来预测热压协同处理下细菌芽孢的灭活效果。

关键词：超高静压；中温；鸡腿菇；灭活；凝结芽孢杆菌芽孢；嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢

中图分类号：O521.9；TS201 **文献标识码**：A

1 引 言

超高静压处理技术是将 100～1 000 MPa 静态液压力作用于食品物料，在常温或较低温度下达到杀菌、抑制酶活性及改善食品质构等性质的一种高新技术[1-2]。在超高静压杀菌中，细菌营养体一般很容易被杀死，但其芽孢由于耐压性较高，一般的压力处理很难将其杀死，所以单独的压力处理不能达到完全杀灭细菌芽孢的效果[3-4]。于是人们采用各种手段（如超声波、脉冲电场、变温等）来协助超高静压处理细菌芽孢。最近有文献报道，中温与超高静压协同处理能够有效地增加细菌芽孢的灭活率[5-6]。

凝结芽孢杆菌（*Bacillus coagulans*）是酸性食品中常见的腐败菌，它耐压并且很耐热，是引起罐头平酸腐败的嗜热菌之一[7]。凝结芽孢杆菌的芽孢在 pH 值低于 4 时能发芽和生长，因此对于蔬菜类食品和罐藏水果要特别注意[8]。而嗜热脂肪芽孢杆菌（*Bacillus stearothermophilus*）是低酸性罐藏食品中经常出现的腐败菌，它比肉毒杆菌还耐热，是引起低酸性罐头食品腐败的典型平酸菌之一，常作为低酸性食品的指示菌[9-11]。鸡腿菇（Coprinus comatus）又称毛头鬼伞，属大型真菌，是一种具有较高商业潜能的食药兼用真菌，目前已成为符合联合国粮农组织和世界卫生组织要求的具有集天然、营养、保健 3 种功能为一体的 16 种珍稀食用菌之一[12]。鸡腿菇也是一种典型的低酸性食品。然而，到目前为止，没有关于热压协同处理对鸡腿菇杀菌效果的报道，鸡腿菇中潜在的芽孢菌还不是很明确。本研究以凝结芽孢杆菌和嗜热脂肪芽孢杆菌这两种典型的低酸性食品指示菌为对象菌，研究中温协同超高静压处

* **收稿日期**：2009-11-11；**修回日期**：2009-12-12

基金项目：国家自然科学基金重点项目(20436020)；广东省自然科学基金(05006597)；湛江师范学院博士启动项目(ZL0805)

作者简介：王标诗(1980－)，男，博士，讲师，主要从事食品工程及安全研究. E-mail：hang_kong2002@163.com

理下接种于鸡腿菇中的这两种对象菌芽孢的灭活效果及其相应的动力学特性,以期为鸡腿菇的工业化生产提供理论依据和技术支持,进一步推动超高静压技术在食品工业中的应用。

2　材料与方法

2.1　菌种和培养基

凝结芽孢杆菌 IFFI 10144 和嗜热脂肪芽孢杆菌 ATCC 12980,均购于中国科学院微生物研究所菌种保藏中心,均为冻干菌种。

普通营养琼脂培养基:蛋白胨 5 g、牛肉膏 30 g、NaCl 5 g、琼脂 15 g、蒸馏水 1000 mL。调 pH 值为 7.0～7.2,混匀后分装于三角瓶中,灭菌(121 ℃、15 min),备用。

促芽孢生长培养基:将上述普通营养琼脂培养基加入 $MnSO_4 \cdot H_2O$(使培养基中 Mn^{2+} 的浓度为 50 mg/L),调 pH 值,灭菌,备用。

2.2　芽孢菌悬液的制备

(1) 菌种经活化后,转移到试管斜面促芽孢生长培养基上划线培养(凝结芽孢杆菌:(45±1)℃,7 d;嗜热脂肪芽孢杆菌,(55±1)℃,10 d)。

(2) 镜检(采用芽孢专用染色法),要求芽孢率达 90%～95%时在无菌条件下用已灭菌的蒸馏水洗脱菌苔;水浴(凝结芽孢杆菌芽孢 30 min,(80±1)℃;嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢 30 min,(90±1)℃)。

(3) 离心:凝结芽孢杆菌芽孢的最大相对离心力为 7000×g,嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的最大相对离心力为 8000×g,4 ℃,15 min,倾去上清液,再用已灭菌的蒸馏水冲洗离心,重复 2～3 次,最后用已灭菌的蒸馏水制成菌悬液,调浓度为 10^8～10^9 CFU/mL。4 ℃保存,一个月内可用。

2.3　样品的制备

2.3.1　*磷酸缓冲溶液为介质*

将洗净的实验用袋(复合真空袋或蒸煮袋)在紫外线下照射至少 1 h;然后用磷酸缓冲液(pH 值 6.8)调节菌悬液浓度为(4～8)×10^6 CFU/mL;接着吸取菌液 2 mL,封袋,并尽可能减少袋内的气泡(空气),外加一层包装袋后,真空包装;最后将封好的样品在 4 ℃下保存,一周内可用。

2.3.2　*鸡腿菇为介质*

将洗净的实验用袋在紫外线下照射至少 1 h;然后用磷酸缓冲液调节菌悬液浓度为(4～8)×10^7 CFU/mL;接着吸取菌液 1 mL,接种在已杀菌(121 ℃,0.1 MPa,15 min)的鸡腿菇(每块样品的形状基本一致,约为 10 g)上,用无菌玻璃涂布棒涂匀,封袋,尽可能减少袋内的气泡,外加一层包装袋后,真空包装,此时样品的含菌量达到 10^6 CFU/g;最后将封好的样品在 4 ℃下保存。

2.4　样品的超高静压处理

将自制的聚四氟乙烯套筒和传压介质癸二酸二辛酯预热到所需温度,再将预热到相同温度的样品放入其中,加塞后立即将套筒置于高压腔内,将上盖旋紧后进行压力处理,达到指定压力后立即卸压,卸压时间为 2～3 s。压力和外壁循环水温度可通过计算机自动记录。处理后,立即将样品取出,置于冰水混合物中(0 ℃)待测,6 h 内完成检测。本实验采用的超高静压处理设备由包头科发食品机械有限公司研制。设备的高压腔体积为 3 L;最高工作压力为 600 MPa;升压速率为 130～140 MPa/min;温度传感器有两个,一个控制外壁循环水温度,另一个通过上堵头连在高压腔体的中心部位,用于检测传压介质或样品的温度变化。

2.5　菌落总数的测定

按照《食品微生物检验国家标准》(GB　4789－2003),采用平板倾注计数法进行菌数的测定。以无菌蒸馏水作稀释液,采用营养琼脂培养基平板培养(凝结芽孢杆菌:(45±1)℃,48 h;嗜热脂肪芽孢杆菌:(55±1)℃,24 h)。芽孢数量的减少以 $\lg(N_t/N_0)$ 表示,其中:N_0 为未经过任何处理的样品菌落总数,N_t 为经过热压处理后芽孢在普通营养琼脂培养基上培养的菌落总数。每个样品有 3 个平行样,结

果以(平均值±标准偏差)表示。

2.6 灭活的动力学模型

在计算失活动力学模型参数时,以升压开始时刻为起始点,采用 3 种模型分析两种细菌芽孢失活的动力学变化特性。

2.6.1 一级动力学模型

该模型假定在热压协同处理下细菌芽孢的存活符合一定的线性关系,即

$$\lg \frac{N_t}{N_0} = -\frac{t}{D} \tag{1}$$

式中:N_0 为未经过热压协同处理时的细菌芽孢数量(CFU/mL),N_t 为热压协同处理 t 时间后细菌芽孢的存活数量(CFU/mL),D 为使 90%的细菌芽孢失活所需的时间。

2.6.2 Weibull 模型

该模型假定细菌营养体和芽孢具有不同的耐压特性,存活曲线是各种失活因素的综合表现,即为累积效应。模型表述为

$$\lg \frac{N_t}{N_0} = -bt^n \tag{2}$$

式中:n 和 b 是与数据范围和曲线性状有关的因子。

2.6.3 Log-logistic 模型

该模型最初是由 M. B. Cole 于 1993 年提出的[13],是用来拟合微生物在单纯热处理下失活的非线性方程。2003 年,H. Chen 等人对模型进行了改进[14],将非线性方程中原来的 4 个参数减少到 3 个,即

$$\lg \frac{N_t}{N_0} = \frac{A}{1+\exp[4\sigma(\tau-\lg t)/A]} - \frac{A}{1+\exp[4\sigma(\tau+6)/A]} \tag{3}$$

式中:A 为高低渐近线之差(lg(CFU/mL)),σ 为最大失活速率(lg(CFU/mL)/lg min),τ 为最大失活速率的对数时间。

2.6.4 模型的比较

利用 SPSS 13.0,对线性和非线性方程进行回归分析,计算方程中相应的参数。用均方差(MSE)和回归系数(R^2)来比较不同模型的拟合效果。R^2 值越高,MSE 值越小,表明此模型的拟合效果越好[15]。

2.7 统计分析

所有实验至少进行 3 次,根据 3 次实验结果计算相应的标准偏差。结果以(均值±标准偏差)的形式表示。指标内部均值之间的比较采用最小显著差异法(Least Significant Difference,LSD),取 95%置信度,即 $P<0.05$。

3 结果与讨论

3.1 热压协同处理对鸡腿菇中凝结芽孢杆菌芽孢灭活的影响

一般来说,在热处理过程中,达到一定温度所需时间较短,这对细菌芽孢的灭活影响不大。然而,在超高静压处理中,由于高压腔体的容积、传压介质等多种因素的影响,达到一定压力所需的升压时间差别较大,这势必会影响细菌芽孢的灭活效果。因此本实验将升压时间对细菌芽孢灭活效果的影响考虑在内,如表 1 所示。在所研究的条件下,600 MPa 和 80 ℃协同处理时,升压时间对凝结芽孢杆菌芽孢的失活率影响较高(降低 1.77 个数量级)。在相同的压力和温度条件下:鸡腿菇中凝结芽孢杆菌芽孢的失活率低于磷酸缓冲液中的失活率;在 500 MPa、80 ℃条件下,缓冲溶液和鸡腿菇中凝结芽孢杆菌芽孢的灭活效果没有显著差异,而在 600 MPa、80 ℃条件下,它们之间的差异非常显著($P<0.05$)。这可能跟升压时间有关,压力越高,达到指定压力所需的时间就越长,差异也就越明显。J. Ahn 等人[15]报道了 700 MPa、105 ℃条件下升压过程对 *C. tyrobutylicum* ATCC 25755、*T. thermosaccharolyticum* ATCC 27384、*C. sporagenes* ATCC 7955 等菌种的影响,结果表明,在此条件下菌落总数分别降低了2.5、2.1 和

3.3 个数量级。可见,升压过程对不同菌种芽孢的失活影响是不同的。J. Ahn 的实验中各菌种芽孢失活效果均比本实验的明显,这除了跟他们所使用的压力和温度较高有关以外,还与升压时间较长有关。

表 1　热压协同处理时升压时间对凝结芽孢杆菌芽孢失活率的影响

Table 1　The effect of the pressurization come-up time on Log-reduction of *Bacillus coagulans* spores during high pressure and moderate heat

Media	Initial temperature/(℃)	Pressure/(MPa)	Come-up time/(min)	$\lg(N_t/N_0)$
Buffer	80±0.5	500	3.4±0.1	−0.62±0.08[a]
	80±0.5	600	4.6±0.1	−1.77±0.02[b]
Coprinus comatus	80±0.5	500	3.4±0.1	−0.59±0.10[a]
	80±0.5	600	4.6±0.1	−1.58±0.05[c]

Note:Means in the same column with different superscript lowercase letters are significantly different ($P<0.05$).

在 600 MPa、80 ℃条件下:保压 10 min 时,磷酸缓冲液中的凝结芽孢杆菌芽孢下降了 4 个数量级以上,而鸡腿菇中凝结芽孢杆菌芽孢则只下降了约 3.5 个数量级,明显低于磷酸缓冲液中的失活效果;保压 10 min 后,若继续延长保压时间,失活效果的增加幅度相对较小。在 500 MPa、80 ℃条件下也有类似的结果,即:保压 15 min 时,磷酸缓冲液中凝结芽孢杆菌芽孢下降了 4 个数量级以上,而鸡腿菇中的芽孢下降了约 3.5 个数量级;继续延长保压时间,失活效果增加不明显。在同一时间内,600 MPa、80 ℃条件下,鸡腿菇和磷酸缓冲液中凝结芽孢杆菌芽孢失活率的差异较小。这可能是由于较高的压力增加了鸡腿菇对凝结芽孢杆菌芽孢的保护作用。鸡腿菇中除含有少量蛋白质外,还含有诸如亚油酸、氨基酸和必需氨基酸等其它成分[12]。E. P. Black 等人[16]就曾报道过 L-氨基酸等对芽孢杆菌芽孢的发芽有一定的影响,而高静压对细菌芽孢的致死和发芽有很大关系[17],因此这些成分的存在很可能对凝结芽孢杆菌芽孢的致死产生一定影响,并且其含量越高,热压协同处理时芽孢的抗性可能就越强。

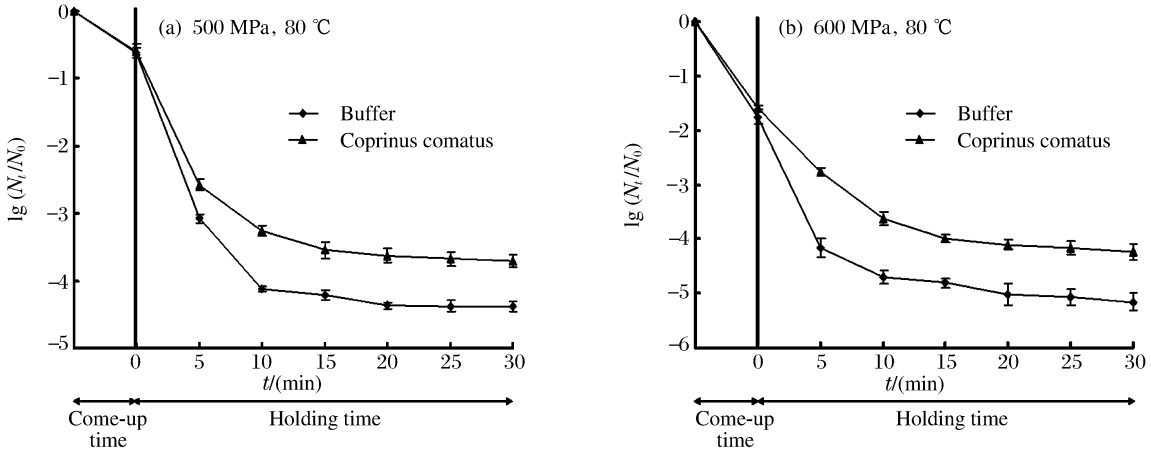


图 1　热压协同处理时磷酸缓冲液和鸡腿菇中凝结芽孢杆菌芽孢的灭活曲线

Fig. 1　Survivor curves for *Bacillus coagulans* spore in phosphate buffer and coprinus comatus through high hydrostatic pressure and moderate heat treatment

3.2　热压协同处理对鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢灭活的影响

中温高静压协同处理时,升压过程对缓冲液和鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢灭活效果的影响列于表 2。从中可以看出:600 MPa、90 ℃条件下,升压时间对磷酸缓冲液中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的失活率影响较高(降低 1.23 个数量级);在相同的压力和温度条件下,鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的失活率均低于磷酸缓冲液中的失活率,这一点与凝结芽孢杆菌芽孢灭活实验结果类似,所不同的是,缓冲液中和鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的灭活效果之间始终存在着显著差异($P<0.05$)。S. Rajan 等人[18]报道了在 700 MPa、105 ℃条件下升压时间对接种于蛋饼中的嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢灭活的影

响，结果表明，嗜热脂肪芽孢杆菌的芽孢数下降低于 1.5 个数量级，而单纯的热处理(121 ℃，3.33 min)对芽孢数基本上没有影响。其嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的灭活效果比本实验的结果好，这可能是因为他们所采用的压力和温度都较高，此外食品成分和升压时间的不同也可能是造成差异的原因。

表 2 热压协同处理时升压时间对嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢失活率的影响

Table 2 The effect of the pressurization come-up time on Log-reduction of *Bacillus stearothermophilus* spores during high pressure and moderate heat

Media	Initial temperature/(℃)	Pressure/(MPa)	Come-up time/(min)	$\lg(N_t/N_0)$
Buffer	90	500	3.4±0.1	−0.96±0.04[a]
	90	600	4.6±0.1	−1.23±0.06[b]
Coprinus comatus	90	500	3.4±0.1	−0.47±0.08[c]
	90	600	4.6±0.1	−0.93±0.04[a]

Note: Means in the same column with different superscript lowercase letters are significantly different ($P<0.05$).

热压协同处理下，嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢在磷酸缓冲液和鸡腿菇中的灭活曲线如图 2 所示。在相同条件下，鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的灭活效果低于磷酸缓冲液中的灭活效果，这一点与凝结芽孢杆菌芽孢灭活实验的结果一致。在 500 MPa、90 ℃条件下，加压 5～20 min 时，磷酸缓冲液中和鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢灭活效果的差异要高于其它时间段；而在 600 MPa、90 ℃条件下，磷酸缓冲液和鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的灭活效果差异在整个加压过程中都比 500 MPa、90 ℃条件下的小。说明在相同温度下，随着压力的增加，鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的抗性有所降低。S. Rajan 等人[19]报道了在 700 MPa、105 ℃条件下接种于蛋饼中的嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的灭活效果，结果表明在加压 5 min 后其失活率下降了约 4 个数量级。这明显高于本实验的研究结果，主要是因为他们使用的压力和温度较高，此外食品体系的不同也是造成差异的原因之一。

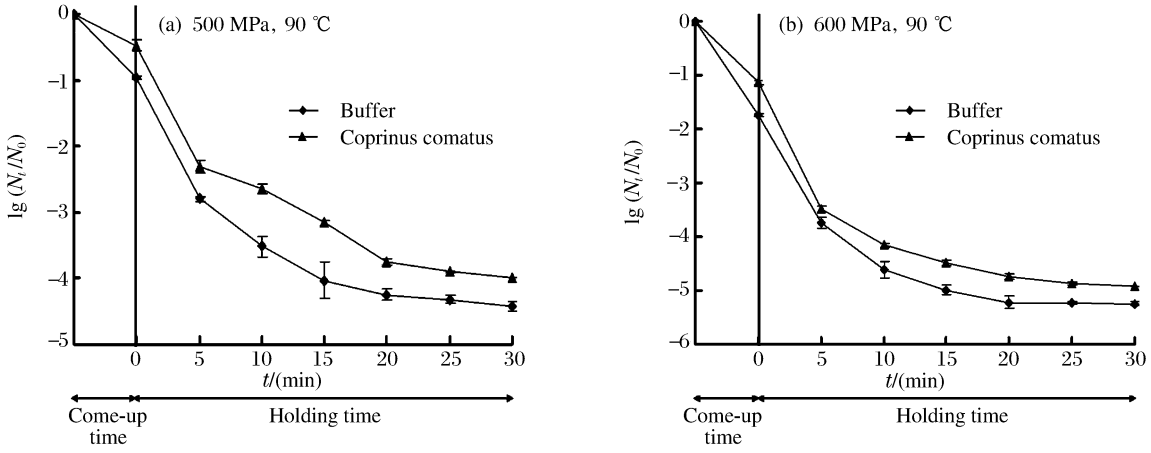


图 2 热压协同处理时磷酸缓冲液和鸡腿菇中嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的灭活曲线

Fig. 2 Survivor curves for *Bacillus stearothermophilus* spore in phosphate buffer and coprinus comatus through high hydrostatic pressure and moderate heat treatment

3.3 灭活的动力学模型

利用线性模型、Weibull 模型和 Log-logistic 模型，对实验结果进行拟合，通过均方差和回归系数来比较 3 种模型的拟合效果。不同温度、压力条件下，鸡腿菇中两种细菌芽孢的动力学模型参数列于表 3。从中可以看出，在相同条件下，线性模型有最高的均方差值和最低的回归系数，表明它的拟合效果较另外两种模型差。而另外两种非线性模型能更好地拟合灭活效果。进一步分析发现，在所研究的条件下，Log-logistic 模型与 Weibull 模型相比，前者的均方差较小，回归系数较高，说明 Log-logistic 模型有更好的拟合效果。在 Weibull 模型中，灭活模型随处理条件的变化而改变，主要有 3 种情况：向上

凹($n<1$)、向下凹($n>1$)和线性($n=1$)。本实验中,所有条件下的 n 值均不超过 1,表明灭活曲线是向上凹的[17]。S. Rajan 等人[18]指出 Weibull 模型中的 n 值与线性模型中的 D 值随压力变化的规律相同,这一点与本研究结果一致。

表 3　不同处理条件下线性、Weibull 和 Log-logistic 模型的参数

Table 3　Parameters of linear, Weibull and Log-logistic models under various treatment conditions

Strain	Temperature /(℃)	Pressure /(MPa)	Linear model			Weibull model				Log-logistic model				
			D	MSE	R^2	b	n	MSE	R^2	A	σ	τ	MSE	R^2
Bacillus coagulans	80	600	5.495	1.804	0.874	1.766	0.232	0.008	0.988	14.110	−2.770	2.525	0.010	0.989
	80	500	6.173	1.650	0.858	1.729	0.262	0.007	0.986	5.240	−1.238	0.753	0.002	0.996
Bacillus stearothermophilus	90	600	4.545	0.206	0.766	2.250	0.244	0.065	0.926	−5.308	−3.343	0.475	0.003	0.997
	90	500	5.882	0.091	0.908	1.122	0.385	0.028	0.971	−7.462	−2.729	1.354	0.027	0.977

4　结　论

(1) 超高静压的升压过程对凝结芽孢杆菌芽孢和嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢有着一定的影响。在保压时间内,前段时间芽孢数量下降较快,继续延长保压时间,灭活效果的增加幅度不大。鸡腿菇作为一种低酸性食品,对这两种细菌的芽孢起着一定的保护作用,并且对嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的保护作用要更强些。

(2) 利用线性模型、Weibull 模型和 Log-logistic 模型,对鸡腿菇中凝结芽孢杆菌芽孢和嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢的灭活曲线进行拟合,以均方差和回归系数为评价指标,分析了 3 种模型的拟合效果。结果表明,Log-logistic 模型的拟合效果最好,因此可通过此模型来预测热压协同处理对鸡腿菇中细菌芽孢的杀菌效果。

References:

[1] Li B S, Ruan Z. Nonthermal Sterilization Technology and Application [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004: 121. (in Chinese)
李汴生,阮　征. 非热杀菌技术及应用 [M]. 北京:化学工业出版社,2004:121.

[2] Wang B S, Zeng Q X, Li B S, et al. Research Advances in Thermal Effect in High Hydrostatic Pressure (HHP) Processing of Food [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(6): 285-290. (in Chinese)
王标诗,曾庆孝,李汴生,等. 食品超高静压处理中热效应问题的研究进展 [J]. 农业工程学报,2007,23(6):285-290.

[3] Islam M S, Inoue A, Igura N, et al. Inactivation of *Bacillus* Spores by the Combination of Moderate Heat and Low Hydrostatic Pressure in Ketchup and Potage [J]. Int J Food Microbiol, 2006, 107(2): 124-130.

[4] Zeng Q M, Xie H M, Pan J, et al. Effect of Ultra-High Pressure Processing (UHPP) on the Microstructure of *Bacillus subtilis* [J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2006, 20(1): 83-87. (in Chinese)
曾庆梅,谢慧明,潘　见,等. 超高压处理对枯草芽孢杆菌超微结构的影响 [J]. 高压物理学报,2006,20(1):83-87.

[5] Okazaki T, Kakugawa K, Yoneda T, et al. Inactivation Behavior of Heat-Resistant Bacterial Spores by Thermal Treatments Combined with High Hydrostatic Pressure [J]. Food Sci Tech Res, 2000, 6(3): 204-207.

[6] Ananta E, Heinz V, Schlüter O, et al. Kinetic Studies on High-Pressure Inactivation of *Bacillus stearothermophilus* Spores Suspended in Food Matrices [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech, 2001, 2(4): 261-272.

[7] Lucas R, Grande M J, Abriouel H, et al. Application of the Broad-Spectrum Bacteriocin Enterocin AS-48 to Inhibit *Bacillus coagulans* in Canned Fruit and Vegetable Foods [J]. Food Chem Toxicol, 2006, 44(10): 1774-1781.

[8] Mallidis C G, Frantzeskakis P, Balatsouras G, et al. Thermal Treatment of Aseptically Processed Tomato Paste [J]. Int J Food Sci Tech, 1990, 25(4): 442-448.

[9] Iciek J, Papiewska A, Molska M. Inactivation of *Bacillus stearothermophilus* Spores during Thermal Processing [J]. J Food Eng, 2006, 77(3): 404-410.

[10] Liu C M, Zhong Y J, Liu W, et al. Effect of Instantaneous High Pressure on *Bacillus stearothemophilus* Reductions [J]. Food Science, 2006, 27(9): 55-58. (in Chinese)

刘成梅,钟业俊,刘 伟,等.瞬间高压对嗜热脂肪芽孢杆菌的杀灭效果[J].食品科学,2006,27(9):55-58.

[11] Wang B S,Li B S,Zeng Q X,et al. Inactivation Kinetics of *Bacillus stearothermophilus* Spore by Pressure-Thermal Processing [J]. Science and Technology of Food Industry,2009,30(5):112-115. (in Chinese)
王标诗,李汴生,曾庆孝,等.热压协同对嗜热脂肪芽孢杆菌芽孢灭活动力学的研究[J].食品工业科技,2009,30(5):112-115.

[12] Chen X W,Lou X Z,Wang Y X. Influence of Ultra Pressure Processing on the Nutrition Element of *Coprinuscomatus* [J]. Science and Technology of Food Industry,2008,29(7):228-229. (in Chinese)
陈锡威,楼雄珍,王允祥.超高压对鸡腿菇营养成分的影响[J].食品工业科技,2008,29(7):228-229.

[13] Cole M B,Davies K W,Munro G,et al. A Vitalistic Model to Describe the Thermal Inactivation of *Listeria monocytogenes* [J]. J Ind Microbiol,1993,12(3-5):232-237.

[14] Chen H,Hoover D G. Use of Weibull Model to Describe and Predict Pressure Inactivation of *Listeria monocytogenes* Scott A in Whole Milk [J]. Innovat Food Sci Emerg Tech,2004,5(3):269-276.

[15] Ahn J,Balasubramaniam V M,Yousef A E. Inactivation Kinetics of Selected Aerobic and Anaerobic Bacterial Spores by Pressure-Assisted Thermal Processing [J]. Int J Food Microbiol,2007,113(3):321-329.

[16] Black E P,Koziol-Dube K,Guan D S,et al. Factors Influencing Germination of *Bacillus subtilis* Spores via Activation of Nutrient Receptors by High Pressure [J]. Appl Environ Microb,2005,71(10):5879-5887.

[17] Huang J,Li B S,Wang B S. Study on Effect of High-Hydrostatic Pressure on the Inner-Change of *Bacillus* Spores [J]. Science and Technology of Food Industry,2007,28(9):219-221. (in Chinese)
黄 娟,李汴生,王标诗.超高静压对细菌芽孢内部变化影响的研究[J].食品工业科技,2007,28(9):219-221.

[18] Rajan S,Pandrangi S,Balasubramaniam V M,et al. Inactivation of *Bacillus stearothermophilus* Spores in Egg Patties by Pressure-Assisted Thermal Processing [J]. LWT-Food Sci Technol,2006,39(8):844-851.

[19] Rajan S,Ahn J,Balasubramaniam V M,et al. Combined Pressure-Thermal Inactivation Kinetics of *Bacillus amyloliquefaciens* Spores in Egg Patty Mince [J]. J Food Prot,2006,69(4):853-860.

Inactivation Effects of Coprinus Comatus Inoculated with Bacterial Spores by High-Pressure Thermal Processing

WANG Biao-Shi[1],LI Bian-Sheng[2],ZENG Qing-Xiao[2],
HUANG Juan[2],RUAN Zheng[2],LI Lin[2]

(1. *School of Chemistry Science and Technology, Zhanjiang Normal College, Zhanjiang* 524048, *China*;
2. *College of Light Industry and Food Sciences, South China University of Technology, Guangzhou* 510640, *China*)

Abstract: The combination effect of high hydrostatic pressure and moderate heat on the inactivation effects of coprinus comatus inoculated with bacterial spores was investigated. The results showed that two bacterial spores (*Bacillus coagulans* and *Bacillus stearothermophilus*) had a much higher resistance in coprinus comatus than in phosphate buffer solution. Moreover, *Bacillus stearothermophilus* spore had a much higher resistance than *Bacillus coagulans* spore at the same pressure and temperature. Survival data were modeled using the linear, Weibull and Log-logistic models to obtain relevant kinetic parameters. The mean square error and regression coefficient suggested that the Log-logistic model produced best fits to all survival curves, following by Weibull model, and the linear model was not adequate for describing these curves. The Log-logistic model could be used to forecast the inactivation curves of bacterial spores by the combination of high hydrostatic pressure and moderate heat.

Key words: high hydrostatic pressure; moderate heat; coprinus comatus; inactivation; *Bacillus coagulans* spore; *Bacillus stearothermophilus* spore