

超高压对峰甘板栗中主要微生物的影响及其货架期预测

郭豪宁¹,赵玉华^{1,2,3},常学东^{1,2,3*},李聪¹,姚园¹

1(河北科技师范学院 食品科技学院,河北 昌黎,066600)

2(河北省板栗工程技术研究中心,河北 昌黎,066600)

3(河北省燕山特色农业技术产业研究院,河北 昌黎,066600)

摘 要 为探讨超高压对真空包装峰甘板栗微生物及感官质量的影响及建立微生物生长模型预测其货架期,在16~18℃对真空包装峰甘板栗进行200 MPa(5、10、15 min)、300 MPa(5、10、15 min)、400 MPa(5、10、15 min)、500 MPa(5、10、15 min)超高压处理。样品处理后于4℃保藏60 d,每隔10 d取样分析,直至样品微生物数量达到安全卫生限值1 000 CFU/g及感官质量不可接受为止。结果表明,与空白对照组相比,超高压处理能显著降低峰甘板栗初始微生物数量,并对影响货架期的腐败微生物:大肠菌群、霉菌、酵母有显著抑制作用,抑制程度与压力(200~500 MPa)和处理时间(5~15 min)具有正相关性;试验中所建立的 Gompertz 模型能有效地拟合不同超高压处理峰甘板栗在货架期间菌落总数的动态变化,有效地评估峰甘板栗的货架寿命和贮藏安全性,500 MPa处理5、10、15 min均能够将峰甘板栗4℃贮藏微生物货架期从9 d延长至60 d以上;但结合感官质量评定结果,300 MPa处理15 min最佳可延长货架期至38 d。

关键词 超高压(ultra high pressure, UHP);真空包装;峰甘板栗;微生物;货架期

峰甘板栗是一种高淀粉的坚果类制品,具有淡雅的鲜栗味,口感甜美,营养丰富。由于加工过程和包装过程易造成微生物污染导致货架期很短,即使在真空包装且冷链保藏的条件下,货架期也只有10天左右,影响峰甘板栗产品的主要微生物是菌落总数、大肠菌群、霉菌及酵母菌、沙门氏菌。

超高压(ultra high pressure, UHP)杀菌是一种新型非热杀菌加工技术^[1],应用于蔬菜、肉制品、饮料等不同类型的食品中^[2-6],可以抑制微生物的生长,显著延长货架期并不破坏食品营养及感官品质。超高压食品的可接受性也日趋提高^[7],国外开展了大量的超高压对食品保鲜方面的研究^[8-10]。但是超高压处理的产品中仍然存在未致死的微生物,它们在保藏过程中会复活、生长从而造成腐败^[11]。为有效控制超高压处理产品的安全性,预测其货架期,引入微生物预测模型是一种较好的方法。预测食品微生物学(Predictive Microbiology)是以建立各种食品微生物在不同条件下的特征信息库为基础,运用微生物学、工程数学以及统计学进行数学建模,应用计算机配套

软件判断食品内微生物生长或残存的动态变化的预测方法,能快速、真实地评估食品的质量和安全性^[12-13]。Gompertz 函数模型能有效地描述和预报食品微生物的生长状况。目前,预测微生物学在食品工业中主要应用于食品货架期的设定和食品的安全评估。针对微生物的预测模型有多种,综合一级模型、二级模型、三级模型就可以把大部分模型表示出来^[14-15]。

本实验中将200 MPa(5、10、15 min)、300 MPa(5、10、15 min)、400 MPa(5、10、15 min)、500 MPa(5、10、15 min)超高压处理的真空包装峰甘板栗4℃的货架期,采用DPS软件建立微生物生长模型,并用改良的Gompertz模型分析不同超高压处理条件下峰甘板栗主要腐败微生物的生长动力学参数,探讨超高压杀菌工艺对峰甘板栗的可行性,同时为该产品货架期的预测提供参考。

1 材料与方法

1.1 峰甘板栗制备

将鲜板栗冷藏至糖度达到最大,约3个月左右,取出在温度:18℃,相对湿度:46%,光照条件:300 lx的条件下峰甘处理至口感风味最佳,使得水分含量达到33%~40%,可溶性总糖含量到达13%~17%^[16],剥壳,真空包装。

第一作者:硕士研究生(常学东教授为通讯作者,E-mail:cxdspx@163.com)。

基金项目:林业公益性行业科研专项经费项目(201304708)

收稿日期:2016-03-31,改回日期:2016-06-04

1.2 超高压处理

采用中国农业大学的“华泰森森”HPP. L2 - 600/2 型食品超高压设备,有效体积为 3 L,最高压力为 600 MPa,传压介质为水,水温为 16 ~ 18 °C,升压速率为 100 MPa/min,解压时间为 10 s,将包装好的峰甘板栗进行压力为 200、300、400、500 MPa 处理;保压时间分别为 5、10、15 min。

1.3 样品贮藏

处理后的样品于 $(4 \pm 1)^\circ\text{C}$ 保藏 30 d,以超高压处理后为保藏的第 0 d,每隔 10 d 取样测定 1 次,当样品中的菌落总数超过产品标准规定值 1 000 CFU/g^[17] 则停止取样,每个处理设置 2 次重复,3 个平行,结果取平均值。

1.4 菌落种类的测定

(1) 菌落总数:参照 GB4789. 2—2010《食品安全国家标准 微生物学检验 菌落总数测定》。

(2) 大肠菌群:参照 GB4789. 3—2010《食品安全国家标准 微生物学检验 大肠菌群计数》第一法,大肠菌群 MPN 计数法。

(3) 霉菌和酵母菌:参考 GB4789. 15—2010《食品安全国家标准 微生物学检验 霉菌和酵母计数》。

(4) 沙门氏菌:参考 GB4789. 4—2010《食品安全国家标准 微生物学检验 沙门氏菌检验》。

1.5 感官质量评定

感官质量评定指标包括 4 个方面:

外观色泽(产品是否呈现亮淡黄色,有无褐变现象,褐变有零星斑点还是大部分褐变);气味滋味(产品有无淡雅的鲜栗香味,有无异味);口感(是否香甜、软脆、咀嚼多汁、下咽有甘润感,有无渣滓感、部分栗肉较苦);组织状态(产品的组织是否软脆,栗仁是否整齐);由 10 人组成的感官小组按 WILLIAMS^[18] 9 点评分法进行打分。

标准:9 = 极好,8 = 很好,7 = 好,6 = 次好,5 = 一般,4 = 一般下,3 = 差,2 = 很差,1 = 极差;总分 ≥ 20 且每项评分 ≥ 5 为可接受。

1.6 数学模型

1.6.1 菌落总数拟合生长模型的建立

采用 DPS 软件分析数据,建立响应变量 $y = \lg N_t/N_0$ (N_t 为贮藏期间的菌落总数, N_0 为贮藏前的菌落总数)对贮藏时间 t 的数学模型。

1.6.2 微生物生长动力学初级模型

微生物生长动力学表征的是微生物数量与时间的关系,即微生物生长曲线,也是微生物预报模型中

的初级模型,研究表明^[19-20],修正的 Gompertz 模型可以准确描述微生物(菌落总数、霉菌及酵母、沙门氏菌等)生长的动态趋势。

Gompertz 模型是四参数双指数方程:

$$y = a \times \exp[-\exp(b - ct)]$$

式中: y 为 t 时刻的微生物数目; a 、 b 、 c 为常数; t 为时间。

ZWIETERING 等将 Gompertz 模型中的 3 个参数 a 、 b 、 c 用具有生物学意义参数进行转换:

$$a = A, b = \mu_m e \lambda / A + 1, c = \mu_m \lambda / A$$

得到修正的 Gompertz 方程如下^[21]:

$$\lg N_t = \lg N_0 + \lg(N_{\max}/N_0) \times \exp\{-\exp[\mu_{\max} 2.7182/\lg(N_{\max}/N_0) \times (\lambda - t) + 1]\} \text{ 及 } \lg(N_t) = \lg(N_{\max}) - A \times \exp\{-\exp[\mu_{\max} \times 2.7182 \times (-SL)/A] + 1\} + A \times \exp\{-\exp[\mu_{\max} \times 2.7182 \times (\lambda - t)/A] + 1\}$$

式中: t 为样品贮藏时间,d; N_t 为 t 时的菌数,1 g (CFU/g); N_{\max} 、 N_0 分别为整个贮藏过程中最大和初始菌数,1 g (CFU/g); λ 为微生物生长的延滞期,d; μ_{\max} 为微生物生长最大生长速率, d^{-1} ; e 为数学常数,约等于 2.718 2。 A 为从保藏时间 $t=0$ 开始到微生物数量达到最大值 N_{\max} 的时间,d; SL 为达到最高活菌数时的货架期,d。

1.7 数据分析

数据统计使用 origin 8.5 软件对数据进行拟合并绘图及 DPS 9.5 软件统计分析及 Matlab7.0 软件计算。

2 结果与分析

2.1 超高压处理对峰甘板栗初始及保藏过程微生物的影响

由图 1 和图 2 可知,超高压处理对峰甘板栗微生物具有抑制作用,峰甘板栗对照组样品初始菌落总数为 360 CFU/g,霉菌酵母数量为 69 CFU/g,大肠杆菌 < 3 MPN/g,未检出沙门氏菌。综合 GB19300—2014《食品安全国家标准 坚果与籽类食品》,DB11/622—2009《果仁、坚果制品卫生要求》,NY/T 1042—2014《绿色食品坚果》规定,产品的卫生要求微生物菌落总数应低于 1 000 CFU/g,霉菌低于 50 CFU/g,大肠菌群低于 3 MPN/g,致病菌(沙门氏菌)不得检出。与对照组相比,超高压处理对菌落总数、霉菌酵母有显著抑制作用,微生物的抑制及杀灭与超高压水平和处理时间有关。此外,除了 500 MPa 处理 10 min 与 15 min 对霉菌酵母菌的抑制效果显著高于 500 MP

对 a 处理 5 min, 在处理压力相同的条件下, 处理时间对初始微生物的降低作用没有显著性差异。CARPI 等^[22]对法兰克福香肠及肖志华等^[23]对生鲜猪肉利用 600 MPa 的高压分别处理 5、10、15、20 min, 样品中菌落总数的降低程度与处理时间(5~20 min)成正相关, 这与本试验结果一致。推断在一定范围内超高压处理强度是压力水平和处理时间的函数, 而压力水平是抑制效果的最主要影响因素。

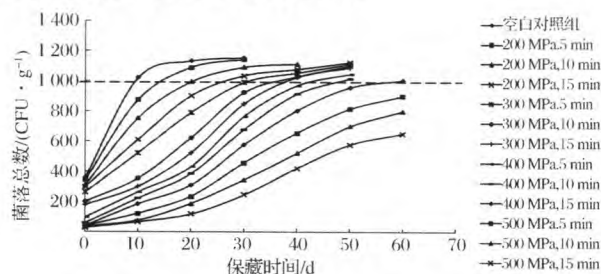


图1 峰甘板栗 4 °C 保藏期间菌落总数的变化

Fig. 1 Growth curves of total bacteria count in Feng Gan chestnut stored at 4 °C

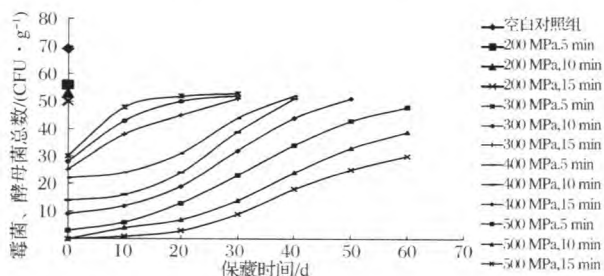


图2 峰甘板栗 4 °C 保藏期间霉菌及酵母菌的变化

Fig. 2 Growth curves of yeast and mold in Feng Gan chestnut stored at 4 °C

注: 虚线表示峰甘板栗的微生物货架期标准。

菌落总数的迅速增长并高于微生物标准限量是影响货架期的主要原因之一, 霉菌、酵母菌是真空包装峰甘板栗 4 °C 贮藏的主要腐败菌。对照样在 4 °C 保藏中, 菌落总数、霉菌酵母菌和大肠菌群数量迅速上升(图 1、图 2), 大肠菌群的数量第 10 天达 3.0 MPN/g, 第 20 天达到 3.6 MPN/g, 超高压处理后产品的菌落总数、霉菌及酵母菌经过一段延滞期后迅速上升, 最终数量达到与对照组相近的极值, 可推断超高压处理对微生物有致伤作用, 受伤的微生物在后续保藏过程中表现出复活的现象, 仍会生长导致腐败, 200 MPa 处理 5 min 与 10 min 可能对主要腐败菌的致伤作用有限, 使其在良好的环境中很快修复; 同时在相同压力处理条件下, 处理 15 min 对微生物延滞期的延长及生长速率的降低作用更强, 推断处理 15 min

较处理 5 min 与 10 min 对微生物有更强的致伤作用; 相同处理时间, 压力的升高(200~500 MPa), 使微生物生长延滞期延长, 生长速率降低, 可能是压力的增加增强了对微生物的致伤作用; 大肠菌群除了 200 MPa、5 min 处理第 30 d 达到 3.0 MPN/g 其余处理样始终低于检测限, 超高压处理影响了真空包装峰甘板栗贮藏期的菌相构成, 但没有改变其主要的腐败菌与 longo 等^[24]研究结果一。

菌落总数、霉菌、酵母、大肠菌群和沙门氏菌表现出对压力处理耐受性的差异, 较低压力处理条件即可将大肠菌群全部抑制, 霉菌、酵母对压力有一定耐受能力, 比菌落总数更敏感。可见超高压处理效果受微生物种类的影响。ANNA 等^[25]发现 600 MPa 处理对切片火腿、发酵香肠中大肠杆菌有显著致死效果。YALDAGARD 等^[26]研究表明 200 MPa 处理鲑鱼, 细菌总数下降 30%, 而酵母菌未发生变化, 与本试验结果一致。

2.2 峰甘板栗货架期间菌落总数生长模型的建立

根据图 1 测定的菌落总数计算响应值 Y ($\lg N_t/N_0$), 利用 DPS 软件对响应值 Y 及货架时间 t 进行微生物生长模型拟合, 拟合方程及其方差分析如表 1 所示。

由表 1 可知, 通过 F 检验, 对照组, $F = 3\,387.831\,9 < F_{0.01}(2, 1) = 4\,999$; 200 MPa、5 min 处理组, $F = 756.404\,3 < F_{0.01}(2, 1) = 4\,999$; 这两组所建立的模型在显著水平($\alpha = 0.01$)内不显著, 而 $F = 3\,387.831\,9 > F_{0.05}(2, 1) = 199.5$, $F = 756.404\,3 > F_{0.05}(2, 1) = 199.5$, 证明模型可以较好地拟合不同超高压条件处理的峰甘板栗在货架期间菌落总数的动态变化。200 MPa、10 min 处理组, $F = 301.6467 > F_{0.01}(2, 2) = 99.01$; 200 MPa、15 min 处理组, $F = 318.278\,0 > F_{0.01}(2, 3) = 30.81$; 300 MPa、5 min 处理组, $F = 217.764\,8 > F_{0.01}(2, 3) = 30.81$; 300 MPa、10 min 处理组, $F = 660.704\,8 > F_{0.01}(2, 3) = 30.81$; 300 MPa、15 min 处理组, $F = 593.936\,3 > F_{0.01}(2, 3) = 30.81$; 400 MPa、5 min 处理组, $F = 96.483\,9 > F_{0.01}(2, 3) = 30.81$; 400 MPa、10 min 处理组, $F = 70.952\,8 > F_{0.01}(2, 3) = 30.81$; 400 MPa、15 min 处理组, $F = 77.405\,6 > F_{0.01}(2, 4) = 18.00$; 500 MPa、5 min 处理组, $F = 168.080\,9 > F_{0.01}(2, 4) = 18.00$; 500 MPa、10 min 处理组, $F = 556.840\,6 > F_{0.01}(2, 4) = 18.00$; 500 MPa、15 min 处理组, $F = 305.608\,1 > F_{0.01}(2, 4) = 18.00$; 由此可知, 建立的模型在显著水平($\alpha = 0.01$)内是极显著

的;其中 R^2 均大于 0.97,说明模型可以解释 97% 以上试验所得数据,证明模型可以很好的拟合不同超高压条件处理的峰甘板栗在货架期间菌落总数的动态变化。

表 1 不同超高压条件处理的峰甘板栗货架期间的菌落总数生长模型及其回归方程方差分析表

Table 1 The growth model of total colnoy in Feng Gan chestnut and ANOVA sheet of Regression equation by different UHV treatment during the shelf

组别	方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
空白对照组	回归	0.178 5	2	0.089 3	3 387.831 9	*
	剩余	0.000 0	1	0.000 0		
	$Y=0.502 5 \times \exp[-\exp(1.892 1-0.415 6t)]$ $R^2=0.999 9$					
200 MPa、 5 min	回归	0.175 2	2	0.087 6	756.404 3	*
	剩余	0.000 1	1	0.000 1		
	$Y=0.511 3 \times \exp[-\exp(1.654 3-0.308 1t)]$ $R^2=0.999 3$					
200 MPa、 10 min	回归	0.216 3	2	0.108 2	301.646 7	**
	剩余	0.000 7	2	0.000 4		
	$Y=0.543 1 \times \exp[-\exp(1.419 0-0.246 5t)]$ $R^2=0.996 7$					
200 MPa、 15 min	回归	0.246 4	2	0.123 2	318.278 0	**
	剩余	0.001 2	3	0.000 4		
	$Y=0.557 6 \times \exp[-\exp(1.224 3-0.169 6t)]$ $R^2=0.995 3$					
300 MPa、 5 min	回归	0.292 9	2	0.146 4	217.764 8	**
	剩余	0.002 0	3	0.000 7		
	$Y=0.613 5 \times \exp[-\exp(1.125 5-0.136 0t)]$ $R^2=0.993 2$					
300 MPa、 10 min	回归	0.435 8	2	0.217 9	660.704 8	**
	剩余	0.001 0	3	0.000 3		
	$Y=0.744 8 \times \exp[-\exp(1.253 8-0.110 1t)]$ $R^2=0.997 7$					
300 MPa、 15 min	回归	0.503 2	2	0.251 6	593.936 3	**
	剩余	0.001 3	3	0.000 4		
	$Y=0.812 7 \times \exp[-\exp(1.271 9-0.097 0t)]$ $R^2=0.997 5$					
400 MPa、 15 min	回归	0.777 9	2	0.388 9	96.483 9	**
	剩余	0.0121	3	0.004 0		
	$Y=1.047 5 \times \exp[-\exp(1.006 9-0.094 9t)]$ $R^2=0.984 7$					
400 MPa、 1 min	回归	1.061 6	2	0.530 8	70.952 8	**
	剩余	0.022 4	3	0.007 5		
	$Y=1.220 4 \times \exp[-\exp(0.955 5-0.102 1t)]$ $R^2=0.979 3$					
400 MPa、 15 min	回归	1.482 7	2	0.741 4	77.405 6	**
	剩余	0.038 3	4	0.009 6		
	$Y=1.376 9 \times \exp[-\exp(0.894 1-0.094 5t)]$ $R^2=0.974 8$					

续表 1

组别	方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著水平
500 MPa、 5 min	回归	1.534 5	2	0.767 3	168.080 9	**
	剩余	0.0183	4	0.004 6		
	$Y=1.390 5 \times \exp[-\exp(0.988 9-0.082 7t)]$ $R^2=0.988 2$					
500 MPa、 10 min	回归	1.608 2	2	0.804 1	556.840 6	**
	剩余	0.005 8	4	0.001 4		
	$Y=1.3899 \times \exp[-\exp(1.165 0-0.078 8t)]$ $R^2=0.996 4$					
	剩余	0.010 2	4	0.002 5		
	$Y=1.440 9 \times \exp[-\exp(1.108 1-0.065 6t)]$ $R^2=0.993 5$					

2.3 不同处理组峰甘板栗货架期的计算

以菌落总数 1000 CFU/g 作为峰甘板栗的腐败货架期标准,根据以上数据及动力学方程(改良 Gompertz 模型)可得货架期参数如表 2。

表 2 峰甘板栗 4 ℃ 保藏过程菌落总数生长动力学参数(μ 和 λ)及货架期

Table 2 Kinetic growth parameters (μ and λ) of total bacteria count in ultra-high pressure-treated and untreated Feng Gan Chestnut and their shelf-lives during 4 ℃ storage

组别	响应值		
	货架期/d	μ_{\max}/d^{-1}	λ/d
空白对照组	9	95.756	-3.758
200 MPa	保压 5 min	12	62.526
	保压 10 min	16	48.626
	保压 15 min	23	35.380
	保压 5 min	29	29.617
300 MPa	保压 10 min	36	26.559
	保压 15 min	38	25.040
	保压 5 min	45	25.536
	保压 10 min	49	24.959
400 MPa	保压 15 min	58	23.310
	保压 5 min	>60	20.155
	保压 10 min	>60	17.475
500 MPa	保压 15 min	>60	15.188
			12.584

结合图 1、图 2 及表 2 可知,与对照组相比,超高压压力越高,处理时间越长,对生长延滞期(λ)及最大生长速率(μ_{max})影响越大,进而达到延长货架期目的。相同压力处理条件下,不同微生物对压力的耐受程度不同,大肠菌群对压力处理极为敏感。200 MPa 处理 10 min 及更高压力处理能够将其全部抑制。200 MPa 处理 5 min 使大肠菌群的生长速率降低,但未能完全抑制其生长,其结果与高扬^[3]研究结果一致。

2.4 峰甘板栗最低货架期预期

在进行感官质量评定前,根据该试验品特性、消费者调查报告数据及市场商业化要求,其转化为产品的货架期不得低于 30 d。

2.5 峰甘板栗的感官质量变化

对达到最低货架期 30 d 以上及菌落总数不超过标准的真空包装峰甘板栗产品进行感官评价(表 3)。

表 3 峰甘板栗在不同超高压处理条件下的感官质量评分
Table 3 Sensory quality score of Feng Gan chestnut at different UHV conditions

组别	感官得分	货架时间/d						
		0	10	20	30	40	50	60
300 MPa、 10 min	外形色泽	8	7	6	6			
	气味滋味	9	8	6	5			
	口感	9	8	7	6			
	组织状态	8	7	5	5			
	总计	34	30	24	22			
300 MPa、 15 min	外形色泽	8	7	6	6			
	气味滋味	9	7	5	5			
	口感	9	8	7	5			
	组织状态	7	7	5	5			
	总计	33	29	23	21			
400 MPa、 5 min	外形色泽	7	7	6	6	5		
	气味滋味	8	7	5	4	3		
	口感	9	7	6	5	3		
	组织状态	7	7	7	6	5		
	总计	31	28	24	21	16		
400 MPa、 10 min	外形色泽	7	7	6	6	5		
	气味滋味	7	7	5	4	2	1	
	口感	9	7	6	5	3		
	组织状态	7	7	6	6	5		
	总计	30	28	23	21	15		
400 MPa、 15 min	外形色泽	7	7	6	6	5		
	气味滋味	7	7	5	4	2	1	1
	口感	9	7	6	5	3		
	组织状态	7	7	6	6	5		
	总计	30	28	23	21	15		
500 MPa、 5 min	外形色泽	7	7	6	6	5	4	3
	气味滋味	9	8	7	6	4		
	口感	9	7	6	5	4		
	组织状态	7	7	6	5	3		
	总计	32	29	27	22	16		
500 MPa、 10 min	外形色泽	7	7	6	5	5	4	2
	气味滋味	9	8	7	6	4		
	口感	9	7	6	5	3		
	组织状态	7	6	5	5	3	2	1
	总计	32	28	26	21	15		
500 MPa、 15 min	外形色泽	7	7	6	6	5	3	2
	气味滋味	9	8	7	6	4		
	口感	9	7	6	5	3		
	组织状态	6	6	5	5	3	2	1
	总计	31	28	26	22	15		

由表 3 可知,高压对峰甘板栗的外形色泽及组织状态影响较大,与对照组相比,经过超高压处理的峰甘板栗外形色泽偏红黄,评分相对低,但在贮藏过程中色泽保持较好;而组织状态随着贮藏时间增长逐渐变软;300 MPa 对峰甘板栗的色泽影响较大,而 400 MPa 对其气味滋味影响较大,500 MPa 对其组织状态与外形色泽影响都较大;感官数据结合动力学货架期,可知 300 MPa 处理最佳。

超高压对草莓^[27]、莴笋^[2]、鲜切苹果^[28]、鲜荔枝^[29]、石榴果泥^[30]的研究表明,不同高压对风味物质的保留、产品的机械损伤及膜氧化损伤、硬度与色泽都有不同的影响。故不同高压对峰甘板栗感官指标的影响需进一步研究机理。

3 结论

(1)超高压压力水平的提高与处理时间的延长增强了对峰甘板栗主要微生物的杀灭和抑制效果,在一定范围内超高压处理强度是压力水平和处理时间的函数,而压力水平是抑制效果的最主要影响因素。

(2)峰甘板栗中菌落总数、霉菌酵母、大肠菌群和沙门氏菌表现出对压力处理耐受性的差异,较低压力处理条件即可将大肠菌群全部抑制,霉菌酵母对压力有一定耐受能力,比菌落总数更敏感。可推断超高压处理效果受微生物种类的影响。

(3)超高压处理对微生物有致伤作用,受伤的微生物在后续保藏过程中表现出复活的现象,仍会生长导致腐败。试验中压力的升高(200~500 MPa),使微生物生长延滞期延长,生长速率降低,推断可能是压力的增加增强了对微生物的致伤作用。

(4)超高压处理 200 MPa 达不到延长货架期至 30 d 的效果;300 MPa 处理对峰甘板栗的色泽有影响,但综合评价,300 MPa 处理最佳;400 MPa 处理峰甘板栗其气味滋味发生明显的变化;500 MPa 对峰甘板栗的组织状态影响较大。

(5)试验建立的 Gompertz 模型拟合程度较高,结合感官质量评定结果,确定 300 MPa 处理 15 min 最佳可延长货架期至 38 d。

4 展望

实验中建立的 Gompertz 模型能有效拟合不同超高压处理的峰甘板栗的菌落总数的动态变化,结合修正 Gompertz 动力学方程,可以预测达到微生物限量时 4 ℃峰甘板栗的货架期,保证峰甘板栗的贮藏安全

性。但是微生物生长的初级模型只是模拟了微生物生长与时间之间的近似关系,由于微生物在食品中的生长与所处的环境条件有极大的关系,所以有必要在初级模型中引入环境因子对微生物生长的影响,应用预测微生物学的二级动力学模型。

参 考 文 献

- [1] 陈复生. 食品超高压加工技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 257.
- [2] 姚佳. 超高压下莴笋质构的变化及机制研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014.
- [3] 高扬, 周国兴, 王洋, 等. 超高压处理对法兰克福香肠中主要微生物的影响及其变化规律[J]. 肉类研究, 2011, 25(6): 1-4.
- [4] 沈旭娇, 徐辛莲, 周光宏. 超高压处理对南京盐水鸭货架期的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(4): 250-254.
- [5] 张微, 李汴生. 超高压处理对菠萝汁品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(10): 181-185.
- [6] 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.
- [7] NIELSEN H B, SONNE A M, GRUNERT K G, et al. Consumer perception of the use of high-pressure processing and pulsed electric field technologies in food production[J]. Appetite, 2009, 52(1): 115-126.
- [8] CAMPUS M, FLORES M, MARTINEZ A, et al. Effect of high pressure treatment on colour, microbial and chemical characteristics of dry cured loin[J]. Meat Science, 2008, 80(4): 174-181.
- [9] BRIVIBA K, GRÄF V, et al. Ultra high pressure homogenization of almond milk: physico-chemical and physiological effects[J]. Food Chemistry, 2016, 192: 82-89.
- [10] RUBIO B, MARTINEZ B, GARCIA-CACHAN M D, et al. Effect of high pressure preservation on the quality of dry cured beef "Cecina de Leon" [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2007, 8(1): 102-110.
- [11] HENDRICKX M, KNORR D, LUDIKHUYZE L, et al. Ultra high pressure treatments of foods[M]. New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers, 2001.
- [12] 胡洁云, 欧杰, 李柏林. 预报微生物学在食品安全风险评估中的作用[J]. 微生物通报, 2009, 36(9): 1397-1403.
- [13] YU C, DAVIDSON V J, YANG S X. A neural network approach to predict survival/ death and growth/ no-growth interfaces for *Escherichia coli* O157:H7[J]. Food Microbiology, 2006, 23(6): 552-560.
- [14] 励建荣, 李婷婷, 丁婷. 水产品新鲜度综合评价与货架期预测模型的构建研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2016, 34(1): 1-8.
- [15] STANDAERT A R, GEERAERD A H, BERNAERTS K, et al. Obtaining single cells: analysis and evaluation of an experimental protocol by means of a simulation model[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 100(1-3): 55-66.
- [16] 张超. 峰甘板栗加工过程中环境因素及主要生理代谢的研究[D]. 秦皇岛: 河北科技师范学院, 2014.
- [17] 北京市质量技术监督局, DB11/622-2009 果仁、坚果制品卫生要求[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [18] WILLIAMS SK, RODRICK GE, WEST RL. Sodium lactate affects shelf life and consumer acceptance of fresh catfish fillets under simulated retail conditions[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(3): 636-639.
- [19] CORBO M R, NOBILE MAD, SINIGAGLIA M. A novel approach for calculating shelf life of minimally processed vegetables[J]. International Journal of Food Microbiology, 2006, 106(1): 69-73.
- [20] ZWIETERING M H, JONGENBURGER I, ROMBOUTS F M, et al. Modeling of the bacterial growth curve[J]. Applied Environmental Microbiology, 1990, 56(6): 1875-1881.
- [21] 韩巍巍, 刘程惠, 胡文忠, 等. 鲜切苹果微生物生长模型研究及货架期预测[J]. 食品工业科技, 2010, 31(12): 104-109.
- [22] CARPI G, SQUARCINA N, GOLA S, et al. Application of high pressure treatment to prolong the refrigerated shelf-life of sliced cooked ham[J]. Industria Conserve, 1999, 74: 327-339.
- [23] 肖华志, 吕洪波, 贾恺, 等. 超高压处理对芥菜制品与生鲜猪肉杀菌效果的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(1): 36-37.
- [24] SLONGO A P, ROSENTHAL A, CAMARGO LMQ et al. Modeling the growth of lactic acid bacteria in sliced ham-processed by high hydrostatic pressure[J]. Food Science and Technology, 2009, 42(1): 303-306.
- [25] ANNA J, TERESA A, NARCIS G, et al. Efficiency of high hydrostatic pressure at 600 MPa against food-borne microorganisms by challenge tests on convenience meat products[J]. Food Science and Technology, 2009, 42(5): 924-928.
- [26] YALDAGARD M, MORTAZAVI SA, TABATABAIE F. The principles of ultrahigh pressure technology and its application in food processing/preservation: a review of microbiological and quality aspects[J]. African Journal of Biotechnology, 2008, 7(16): 2739-2767.

- [27] ZABETAKIS I, KOULENTIANOS A, ORRUNO E, et al. The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds[J]. Food Chemistry, 2000, 71 (1) : 51 - 55.
- [28] RICOA D, MART N-DIANAA A B, BARATB J M, et al. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review [J]. Trends in Food Science and Technology. 2007, 18 (7) : 373 - 386.
- [29] PHUNCHAIARI C, APICHARTARANGKON A. Effect of ultra-high pressure on biochemical and physical modification of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) [J]. Food Chemistry, 2005, 93 (1) : 57 - 64.
- [30] YEN G C, LIN H T. Comparison of high pressure treatment and thermal pasteurization effects on the quality and shelf life of guava puree[J]. International Journal of Food Science and Technology, 1996, 31 (2) : 205 - 213.

Effect of ultra-high pressure on microbial population and prediction to shelf-life of vacuum-packaged Feng Gan Chestnut during 4℃ storage

GUO Hao-ning¹, ZHAO Yu-hua^{1,2,3}, CHANG Xue-dong^{1,2,3*},
LI Cong¹, YAO Yuan¹

1 (Hebei Normal University of Science and Technology, Changli 066600 China)

2 (Chestnut Engineering Research Center of Hebei, Changli 066600 China)

3 (Yanshan Special Agricultural Technology Industry Research Institute of Hebei, Changli 066600 China)

ABSTRACT Vacuum-packaged Feng Gan Chestnut were subjected to ultra-high pressure treatments at 16 - 18 ℃ and different pressure levels: 200, 300, 400 and 500 MPa for 5 or 10 or 15 min before storage at 4 ℃ for 60 days with the aim of investigating the effect of ultra-high pressure on the microbial population and sense, then establishing the microorganism growth model to imitate the shelf life of vacuum-packaged Feng Gan Chestnut. Compared with control samples without receiving any sterilization treatment, ultra-high pressure treatment could dramatically reduce initial microbial count in Feng Gan Chestnut, and inhibit the growth of dominant spoilage bacteria including total bacteria, yeast, mold and coliforms, which was positively related to pressure (200 - 500 MPa) and length of treatment time (5 - 15 min). The test indicated that the Gompertz model could effectively imitate the dynamic change of number of bacteria during different storage treatment and the growth model could be used as a tool to powerfully evaluate shelf life and tissue damage. Ultra-high pressure treatment at 500 MPa for 5, 10 and 15 min could prolong the shelf-life of vacuum-packaged Feng Gan chestnut from 9 to over 60 days during 4 ℃ storage. Combined with the sensory quality evaluation results, Ultra-high pressure treatment at 300 MPa for 15 min was best that could prolong the shelf-life from 9 to 38 d.

Key words ultra-high pressure (UHP); vacuum-packaged; spoilage microorganism; shelf-life