

响应面法优化哈密乳瓜护脆工艺

敬思群

(新疆大学生命科学与技术学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要: 哈密乳瓜辣椒酱的制作工序包括选料、漂烫、破碎、炒制、拌料等。本研究围绕“哈密乳瓜护脆”这一关键控制点展开实验。在单因素试验的基础上, 根据 Box-Behnken 的中心组合试验设计原理, 运用 Minitab15.0 软件进行分析, 采用 3 因素 3 水平的响应面分析法优化了哈密乳瓜辣椒酱中哈密乳瓜护脆工艺。结果表明: 在乳瓜水分 33%、氯化钙质量浓度 0.19g/100mL、浸泡时间 17min 时, 得到哈密乳瓜的最佳脆度值为 15.449mJ。同时通过杀菌和保温实验确定了最适杀菌工艺为微波杀菌功率为 1400W、时间 2min。

关键词: 哈密乳瓜; 辣椒酱; 脆度; 响应面分析法; 优化

Optimization of Crispness Preservation Process for Hami Melon Using Response Surface Methodology

JING Si-qun

(College of Life Sciences and Technology, Xinjiang University, Ürümqi 830046, China)

Abstract: The preparation of baby Hami melon chili sauce involves material selection, blanching, crushing, frying and seasoning. In this study, the crispness preservation as a key process control point was optimized using response surface methodology based on a three-variable, three-level central composite design. A crispness value of 15.449 mJ was obtained under the optimized conditions: 33% of water content in Hami melon, 0.19 g/100 mL of CaCl_2 concentration, 17 min of soaking time. Meanwhile, the optimal sterilization condition was determined to be 1400 W and 2 min.

Key words: Hami melon; chili sauce; crispness; response surface methodology (RSM); optimization

中图分类号: TS255.53

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)12-0132-06

辣椒酱是传统的佐菜品, 深受广大消费者的喜爱^[1]。哈密瓜(*Cucumis melon* var *reticulatus* ‘Hami melon’)属葫芦科植物, 是甜瓜的一个变种。新疆和甘肃敦煌以及内蒙古阿拉善盟一带为我国哈密瓜主要^[2]。哈密瓜乳瓜简称哈密乳瓜。目前对于哈密乳瓜的开发, 疆内除了哈密的大光明食品有限公司将乳瓜制作成腌菜外, 尚无其他应用研究。本实验室对哈密乳瓜成分进行的系统定性研究表明, 其含有蛋白质、氨基酸、多肽、还原糖、有机酸、黄酮类化合物、内酯、植物甾醇、强心苷等成分。据文献[3]报道, 强心苷能加强心肌收缩性, 减慢窦性频率, 因此哈密乳瓜具有较高营养保健价值。将乳瓜和辣椒酱结合, 即保持了哈密乳瓜特殊的清香味和爽脆的口感, 还可避免资源浪费, 带来巨大的经济效益, 并且丰富了辣椒酱市场产品。高志奎^[4]只是做了技术路线的初步探索, 并未提供工艺与感官关系的科学数据。哈密乳瓜辣椒酱品质控制最重要的质量指标是质构, 即哈密乳瓜的脆度。质构仪可用来测定

物质的弹性、韧性、硬度、脆度、剪切性等理化指标^[5], 已在肉及肉制品^[6-7]、果品^[8]、面包^[9-10]、马铃薯片^[11]、蛋品^[12]等多种食品品质的评价中得到日益广泛的应用, 其测定的结果具有较高的灵敏度和客观性, 可以克服感官鉴定方法中存在的不足^[13]。本研究主要目的是利用响应曲面法(response surface methodology, RSM)优化哈密乳瓜辣椒酱制作中的哈密乳瓜护脆工艺, 建立乳瓜脆度的二次多项数学模型, 以期工业化生产提供科学指导。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

四平头椒、线椒(*Capsicum annuum* L.)、哈密乳瓜 新疆西尔丹食品有限公司; 食盐、白砂糖、花椒、味精、菜籽油、新鲜大蒜 市购; 氯化钙和抗坏血酸为分析纯。

收稿日期: 2011-06-01

作者简介: 敬思群(1966—), 女, 教授, 硕士, 研究方向为新疆特色林果深加工。E-mail: jingsiqun@sina.com

AL104 电子秤 成都普瑞电子有限责任公司; ACS-3Bez 电子分析天平 上海德安特电子天平分析天平精密天平有限公司; TexturePro CT V1.2 Build 9 质构仪 美国 Brookfield 公司; PHS-3C 酸度计 上海精密科学仪器有限公司; G7020HCTL-2 微波炉 中国广东格兰仕公司; PYX-DHS-X 型隔水式电热恒温培养箱 郑州佰斯特化验仪器销售有限公司。

1.2 方法

1.2.1 哈密乳瓜辣椒酱工艺流程^[14]

辣椒 → 选料 → 冷水冲洗 → 漂烫 → 切丝 → 称质量 → 白砂糖、食盐、味精、花椒、生姜、大蒜
↓
配料 → 拌料 → 炒制 → 拌料 → 灌装 → 排气 → 杀菌 → 检验 → 装箱
↑
脱水 ← 切丁 ← 哈密乳瓜

1.2.2 工艺操作要点

选料: 选出的使用原料必须无污染物, 做到无虫、无霉、无石, 经过检验后方可使用, 选料工在选料时必须按质量标准进行选料, 当天选出的料当天使用, 不可过夜。冷水冲洗: 原料清洗时必须遵守操作规程, 将泥沙、脏物洗掉。漂烫: 95~10℃ 热水漂烫, 复水 6min。切丝: 将复水后的辣椒放入切丝机中切为宽约 0.5cm 的辣椒丝。拌料: 配料精度控制在质量分数 ±1% 左右, 配料工在原料使用前必须验料, 不合格原料不得使用; 第 1 次拌料拌入质量分数 4.5% 食盐、3% 白砂糖、7% 花椒、3% 味精、2% 生姜、2% 大蒜后和辣椒一起进行炒制; 第 2 次拌料将单独处理好的质量分数为 15% 的哈密乳瓜丁(1cm × 1cm × 1cm)拌入炒制好的辣椒酱中。炒制: 炒制时, 油温控制在 180~200℃ (烧熟), 在炒制时控制温度(110℃), 不得有糊锅。灌装: 按规定的量进行灌装, 误差控制在 ±5%。杀菌: 采用微波杀菌: 1400W × 2min。洗瓶。在清洗瓶子前, 必须对瓶子进行筛选和浸泡。

1.2.3 哈密乳瓜成分定性检测

采用系统试验法对哈密乳瓜成分定性检测。

1.2.3.1 水提液制备

冷水提取液: 称取乳瓜粉末, 按料液比 1:10(g/mL) 添加水, 浸泡过夜, 取部分滤液供检测蛋白质、氨基酸和多肽; 热水提取液: 将冷水提取的剩余滤液和滤渣在 60℃ 水浴中加热 0.5h, 过滤, 滤液供检测糖、多糖、有机酸、皂苷、酚类、鞣质。

1.2.3.2 乙醇提取液制备

称取乳瓜粉末, 按料液比 1:10(g/mL) 添加乙醇, 回流提取 1h, 过滤, 减压浓缩至约 50mL, 检测黄酮类

化合物、蒽醌类、香豆素、内酯、甾体及三萜类、强心苷、有机酸、酚类与鞣质。

1.2.3.3 酸性乙醇提取液制备

称取乳瓜粉末, 按料液比 1:10(g/mL) 添加酸性乙醇(0.5%), 水浴回流 10min, 过滤, 滤液供检测生物碱。

1.2.3.4 石油醚提取液制备

称取乳瓜粉末, 按料液比 1:10(g/mL) 添加石油醚, 室温下浸泡 2h, 过滤, 滤液供检测挥发油、油脂类。

1.2.4 脆度测定

用质构仪测试成品脆度^[15]。测定模式应用质构剖面分析方法(texture profile analysis, TPA), 测定参数如下: 形状: 块状; 尺寸: 约 1cm × 1cm × 1cm; 测试类型: 压缩; 可恢复时间: 0s; 等待时间: 0s; 探头: TA7; 夹具: TA-RT-KI; 目标: 5mm; 同一出发点: 否; 预测测试速度: 2mm/s; 出发点负荷: 6.8g; 测试速度: 0.5mm/s; 返回速度: 0.5mm/s; 循环次数: 1; 数据频率: 10 点/s。

1.2.5 杀菌实验

采用微波杀菌和高温杀菌两种方式分别对哈密乳瓜辣椒酱进行杀菌实验。微波杀菌条件为(功率 × 时间): 1400W × 50s、1400W × 1min、1400W × 1.5min、1400W × 2min、1400W × 2.5min, 高温杀菌条件为(温度 × 时间): 85℃ × 30min、90℃ × 20min、100℃ × 18min、115℃ × 5min、121℃ × 4min。杀菌后的辣椒酱分别放入 37℃ 恒温培养箱中保温 7d 后检测总菌落数和大肠菌群。

菌落总数测定: 按 GB/T4789.2—2003《食品安全国家标准、食品微生物学检验: 菌落总数测定》检验, 大肠菌群测定: 按 GB/T4789.3—2003《食品卫生微生物学检验: 大肠菌群计数》检验。

1.2.6 货架期寿命预测^[16-17]

采用动力学试验, 在 40℃ (开盖) 的条件下对哈密乳瓜辣椒酱进行加速破坏试验, 应用范特荷夫(Vant Hoff)定律预测产品在贮藏温度为 10、20、30℃ 时的货架寿命。

$$t_2 = t_1 Q_{10}^{\frac{(T_2 - T_1)}{10}}$$

其中: t_1 为高温 $T_1(40℃)$ 下食品的货架期 / 月, t_2 为在所考虑的变化幅度不大的温度范围内选定的货架温度下食品的货架期 / 月; Q_{10} 近似地被看做常数, 4.1; T_2 为被选定的货架温度(10、20、30℃)。

2 结果与分析

2.1 哈密乳瓜成分定性检测结果

由表1初步推测,哈密乳瓜中含有氨基酸、蛋白质、多肽、还原糖、黄酮、植物甾醇、强心苷等活性成分,具有较高的营养价值和保健功能。

表1 哈密乳瓜有效成分的定性检测结果

Table 1 Qualitative determination of effective constituents in baby

Hami melon

提取液	检验类别	实验方法	实验现象	实验结果
水提取液	氨基酸、多肽、蛋白质	加热或加酸	絮状沉淀	+
		沉淀实验	絮状沉淀	+
		茚三酮实验	紫红色斑点	+
	糖类	双缩脲实验	紫色	+
		斐林反应	黄色沉淀	+
		还原糖	碱性硝酸银实验	+
	还原糖	多糖实验	紫红沉淀	+
		pH试纸	pH < 7	+
		溴酚蓝实验	黄色斑点	+
	有机酸	溴酚蓝实验	黄色斑点	+
		皂苷	泡沫实验	-
		盐酸-镁粉	溶液呈紫红色	+
	黄酮类化合物	醋酸镁实验	黄色荧光	+
		三氯化铁实验	棕色	+
		三氯化铝实验	黄色	+
乙醇提取液	萜烯类	碱液实验	加碱后溶液呈黄绿色	-
		醋酸镁实验	颜色无变化	-
	内酯、香豆素	荧光实验	蓝色, 然后黄绿色	+
		加碱沸水浴后	加碱沸水浴后	+
	及其甙类	开闭环反应	溶液变澄清, 加酸后变浑浊, 再加碱变澄清	+
		氯仿-浓硫酸实验	氯仿层显红色, 硫酸层为绿色	+
	甾体及三萜类	氯仿-浓硫酸实验	氯仿层显红色, 硫酸层为绿色	+
		强心苷	Keller反应	+
	生物碱	上层墨绿色, 下层无色, 界面为棕色	上层墨绿色, 下层无色, 界面为棕色	+
		硅钨酸实验	无出现浅黄色或白色沉淀	-
酸性乙醇提取	生物碱	硅钨酸实验	无出现浅黄色或白色沉淀	-
石油醚提取液	挥发油、油脂类	磷钼酸乙醇实验	无黄色斑点	-
	挥发油、油脂类	油斑实验	不留痕迹	+

注: “+”表示阳性结果; “-”表示阴性结果。

2.2 哈密乳瓜辣椒酱中哈密乳瓜护脆单因素试验

2.2.1 哈密乳瓜水分对成品脆度影响

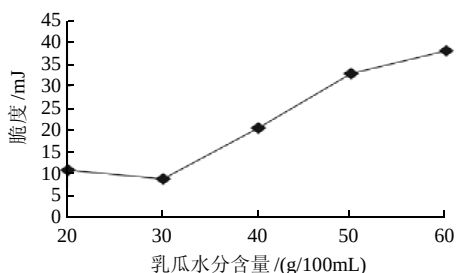


图1 哈密乳瓜水分对成品脆度的影响

Fig.1 Effect of water content of baby Hami cucumber on crispness

在氯化钙质量浓度 0.4g/100mL、浸泡时间 30min 条件下, 测定不同哈密乳瓜水分对脆度的影响。由图1可知, 在哈密乳瓜水分为 30% 时, 脆度最小, 即脆度最好。

2.2.2 氯化钙质量浓度对成品脆度影响

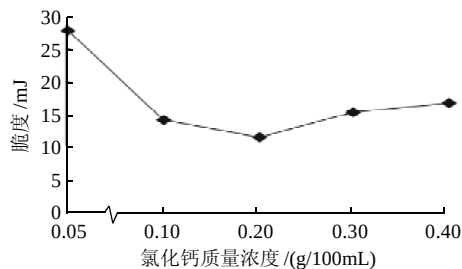


图2 氯化钙质量浓度对成品脆度影响

Fig.2 Effect of calcium chloride concentration on crispness

由图2可知, 在氯化钙浸泡 30min、乳瓜水分 30% 的条件下, 氯化钙质量浓度为 0.2g/100mL 时, 脆度最小, 脆度最好, 所以最佳氯化钙浸泡质量浓度为 0.2g/100mL。脆剂氯化钙的钙离子能与果胶作用生成果胶酸钙的凝胶而使哈密乳瓜制品变的硬而脆。哈密乳瓜的脆性主要与鲜嫩细胞的膨压和细胞壁的原果胶变化有关。当哈密乳瓜失水使细胞膨压降低时则脆性减弱, 但在一定的盐液腌制时, 由于盐液于细胞液间的渗透平衡, 能够恢复和保持腌菜细胞的膨压, 因而不致造成脆性的显著下降。但是氯化钙用量必须恰当, 保持产品一定含水量, 以利于保脆。在低质量浓度下, 哈密乳瓜的脆度随着氯化钙质量浓度的升高而升高, 但是高质量浓度的氯化钙溶液反而使乳瓜脆度降低。这是由于钙离子的存在可以激活果胶甲酯酶, 提高酶活性, 促使果胶转化为甲氧基果胶, 再与钙离子作用生成不溶性的果胶酸钙, 此盐具有凝胶作用, 能在细胞间隙凝结、增强细胞间的连接, 从而使果蔬制品变的硬而脆^[18]。而钙离子质量浓度过高渗透压增大, 水分流失, 不利于护脆。

2.2.3 氯化钙浸泡时间对成品脆度影响

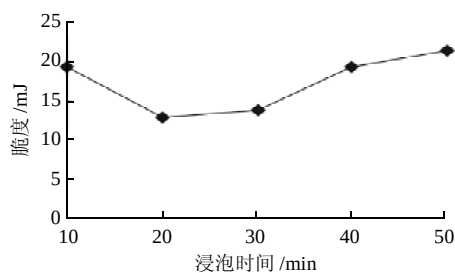


图3 氯化钙浸泡时间对成品脆度影响

Fig.3 Effect of calcium chloride soaking time on crispness

由图3可知,在氯化钙质量浓度2g/100mL、乳瓜水分控制在30%的条件下,浸泡时间为20min时,脆度最好。果胶酸钙的凝胶具有亲水性,当可溶性固形物和酸度条件不合适时会出现不凝胶现象。因此氯化钙浸泡时间要控制适当,时间并不是越长越好。

2.3 响应面法辣椒酱中哈密乳瓜脆度工艺条件优化结果

研究发现哈密乳瓜水分、氯化钙质量浓度和浸泡时间对脆度影响大。因此,本试验根据Box-Behnken试验设计原理^[19],以哈密乳瓜水分、氯化钙质量浓度和浸泡时间3个因素为自变量(分别以 X_1 , X_2 , X_3 表示),以脆度为响应值设计了3因素3水平共15个试验点的响应面分析试验,15个试验点分为12个析因点和3个零点,每个因素水平选取如表2。

表2 3因素3水平响应面分析试验设计表

Table 2 Coded values and corresponding actual values of the optimization parameters used in response surface analysis

水平	X_1 乳瓜水分 / (g/100mL)	X_2 氯化钙质量 浓度 / (g/100mL)	X_3 浸泡 时间 / min
-1	20	0.1	10
0	30	0.2	20
1	40	0.3	30

试验以随机次序进行,将试验所得的脆度用Minitab15.0程序进行分析,并得出响应面分析图、回归拟合方程以及方差分析表。响应面试验设计与结果见表3。

表3 三因素三水平中心组合试验方案及结果

Table 3 Central composite design and experimental results for response surface analysis

试验号	X_1 哈密乳瓜水分	X_2 氯化钙质量浓度	X_3 浸泡时间	脆度 / mJ
1	-1	-1	0	30.23
2	1	1	0	21.63
3	0	0	0	15.45
4	0	1	-1	16.18
5	0	-1	1	22.91
6	0	1	1	20.45
7	-1	0	-1	23.59
8	1	0	1	26.66
9	1	0	-1	22.03
10	-1	0	1	30.92
11	0	0	0	17.89
12	0	0	0	16.21
13	1	-1	0	17.65
14	0	-1	-1	17.02
15	-1	1	0	22.01

利用Minitab软件对试验数据进行分析,由表4得出拟合二次多项式方程为:

$$Y = 16.5167 - 2.3475X_1 - 0.9425X_2 + 2.7650X_3 + 6.5117X_1^2 - 0.1483X_2^2 + 2.7717X_3^3 + 3.0500X_1X_2 - 0.6750X_1X_3 - 0.4050X_2X_3$$

表4 3因素3水平中心组合参数估计

Table 4 Regression coefficients and their significance of the developed regression model

项	系数	系数标准误差	T	P
常量	16.5167	0.8167	20.223	0.000
哈密乳瓜水分(X_1)	-2.3475	0.5001	-4.694	0.005
氯化钙质量浓度(X_2)	-0.9425	0.5001	-1.884	0.118
浸泡时间(X_3)	2.7650	0.5001	5.528	0.003
哈密乳瓜水分(X_1)×哈密乳瓜水分(X_1)	6.5117	0.7362	8.845	0.000
氯化钙质量浓度(X_2)×氯化钙质量浓度(X_2)	-0.1483	0.7362	-0.201	0.848
浸泡时间(X_3)×浸泡时间(X_3)	2.7717	0.7362	3.765	0.013
哈密乳瓜水分(X_1)×氯化钙质量浓度(X_2)	3.0500	0.7073	4.312	0.008
哈密乳瓜水分(X_1)×浸泡时间(X_3)	-0.6750	0.7073	-0.954	0.384
氯化钙质量浓度(X_2)×浸泡时间(X_3)	-0.4050	0.7073	-0.573	0.592

由表4可知,对方程影响显著程度由大到小依次为浸泡时间(X_3)、哈密乳瓜水分(X_1)和氯化钙质量浓度(X_2),其中浸泡时间(X_3)和哈密乳瓜水分(X_1)对方程影响最显著,说明这二者直接关系到脆度,而氯化钙质量浓度(X_2)的影响在一定范围内并不是很显著,并且得知方程二次项和部分交互项的影响都显著的,各因素之间不是简单的线性关系,而是二次关系。

表5 方差分析

Table 5 Variance analysis of the developed regression model

来源	自由度	连续平方和	校正平方和	校正均方	F值	P值
回归	9	330.214	330.214	36.690	18.33	0.003
线性	3	112.354	112.354	37.451	18.71	0.004
平方	3	178.171	178.171	59.390	29.68	0.001
交互作用	3	39.689	39.689	13.230	6.61	0.034
残差误差	5	10.006	10.006	2.001		
失拟	3	6.888	6.888	2.296	1.47	0.429
纯误差	2	3.118	3.118	1.559		
合计	14	340.220				

由表5可知模型回归显著,交互作用较好;失拟项F值很小,表明该方程对试验拟合情况好,实验误差小。因此可以用该回归方程代替实验真实点对实验结果进行分析。

同时做出Box-Behnken试验所得的3组响应面曲面图(图4)。响应面图形是特定的响应值Y对应的因素 X_1 、 X_2 、 X_3 构成的一个三维空间在二维平面上的等高图,可以直观地反映各因素的交互作用以及对响应值的影响。图中可看到拟合曲面有最大值,对拟合方程求偏导,可得出模型最大值,即为最优的试验方案。

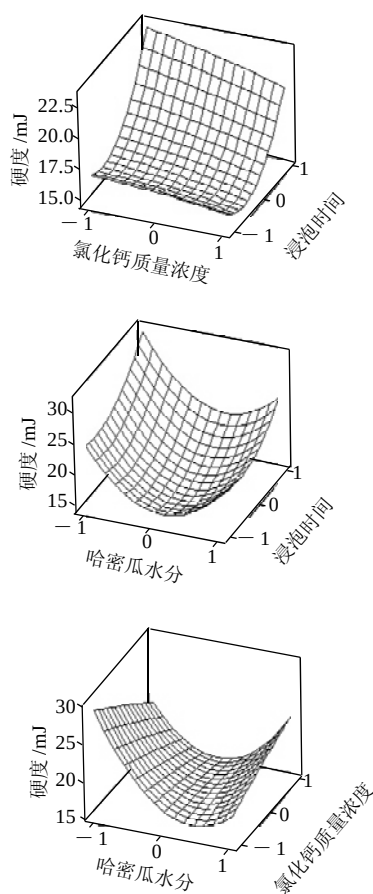


图4 因素交互作用对脆度影响的响应面图

Fig.4 Effect of intraction of independent variables on crispness

为了进一步确证最佳点的值,利用上述分析进行最优工艺的推导,对回归方程取一阶偏导数为零并整理得:

$$\begin{cases} -2.3475 + 13.0234X_1 + 3.0500X_2 - 0.6750X_3 = 0 \\ -0.9425 - 0.2966X_2 + 3.05X_1 - 0.405X_3 = 0 \\ 2.7650 - 8.315X_3 - 0.675X_1 - 0.405X_2 = 0 \end{cases}$$

联立上述3个方程求解,得到 $X_1 = 0.2546$, $X_2 = -0.1255$, $X_3 = -0.3180$ 。换算后得到最佳工艺条件为哈密乳瓜水分(X_1) 32.55%、氯化钙质量浓度(X_2) 0.18745g/100mL、浸泡时间(X_3)16.82min。带入方程求解到脆度的预测值为 15.396mJ。

为检验响应面法所得结果的可靠性,在上述优化条件下重复实验3次,考虑到实际操作的便利,将工艺参数修正为哈密乳瓜水分(X_1) 33%、氯化钙质量浓度(X_2) 0.19g/100mL、浸泡时间(X_3)17min,在此条件下进行微波杀菌 $1400W \times 2min$ 后,测得实际脆度为 15.449mJ。与理论预测值相比,其相对误差约为 0.35%,说明了回归方程的预测值与实验值之间具有较好的拟合度。因此,基于响应面法所得的优化工艺参数准确可靠,具有实用价值。

2.4 微波杀菌和高温杀菌对成品微生物数量的影响

表6 微生物检测结果

Table 6 Effect of sterilization style on total bacterial count and coliform bacterial count

杀菌方式	总菌落数 / (CFU/100g)	大肠菌群 / (MPN/100g)
微波杀菌	1400W × 50s	6320
	1400W × 1min	5400
	1400W × 1.5min	4780
	1400W × 2min	4860
	1400W × 2.5min	3520
高温杀菌	85℃ × 30min	5700
	90℃ × 20min	5890
	100℃ × 18min	3970
	115℃ × 5min	4260
	121℃ × 4min	3400

在哈密乳瓜水分 33%、氯化钙质量浓度 0.19g/100mL、浸泡时间 17min 的条件下,采用不同杀菌方式,对成品的微生物数量进行检测,结果如表 6。由表 6 可以看出,微波杀菌 $1400W \times 2min$ 、 $1400W \times 2.5min$ 和高温杀菌 $100℃ \times 18min$ 、 $115℃ \times 5min$ 、 $121℃ \times 4min$ 符合 NY/T1070—2006《辣椒酱》中大肠菌群数量 $\leq 30MPN/100g$ 的规定,因此高温杀菌这 5 种杀菌方式都可以采用。经测定,这 5 种杀菌条件下的脆度分别为 8.06、16.52、23.62、19.41mJ 和 17.28mJ,可见微波杀菌对哈密乳瓜脆度的影响较小,并且有利于哈密乳瓜的护色,因此综合考虑,采用杀菌方式为微波杀菌 $1400W \times 2min$ 。

2.5 货架期寿命预测实验

由 $40℃$ 时, $t_s = 22d$,运用阿列纽斯方程推算, $Q_{10} = 4.1$,由此推得贮藏温度 10、20、 $30℃$ 时货架寿命,结果见表 7。

表7 货架期寿命预测

Table 7 Response surface plots showing the effect of independent variables on crispness

序号	1	2	3
贮藏温度/ $℃$	10	20	30
货架寿命/月	50	12.5	3

3 结 论

哈密乳瓜辣椒酱护脆最优工艺条件为哈密乳瓜水分 33%、氯化钙质量浓度 0.19g/100mL、浸泡时间 17min,微波杀菌 $1400W \times 2min$,在此条件下成品中乳瓜脆度功率为 15.449mJ。哈密乳瓜辣椒酱配料为 30% 哈密乳瓜丁、35% 复水辣椒丝、4.5% 食盐、3% 白砂糖、7% 花椒、3% 味精、2% 生姜、2% 大蒜。产品的货架期寿命为常温下存放 1 年。

参考文献:

- [1] 杨启豪, 陈宇. 酱菜腌瓜的工艺研究[J]. 广州食品工业科技, 2003(4): 78-80.
- [2] 袁士臣, 刘兹萍, 岳一兵, 等. 哈密瓜丰产型新品种金蜜 8 号的选育[J]. 中国瓜菜, 2010(2): 18-19.
- [3] 王家良, 章茂顺, 许志齐, 等. 醋柳总黄酮治疗缺血性心脏病的疗效观察[J]. 四川医学院学报: 医学版, 1982(1): 58-61.
- [4] 高志奎. 辣椒产业开发与深加工技术使用手册[M]. 北京: 中国知识出版社, 2007: 63-64.
- [5] 林芳栋, 蒋珍菊, 廖珊, 等. 质构仪及其在食品品质评价中的应用综述[J]. 生命科学仪器, 2009, 7(5): 61-63.
- [6] 丁武, 寇莉萍, 张静, 等. 质构仪穿透法测定肉制品嫩度的研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 138-141.
- [7] 夏建新, 王海滨, 徐群英. 肌肉嫩度仪与质构仪对燕麦复合火腿肠测定的比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(3): 145-149.
- [8] van BUGGENHOUT S, MESSAGIE I, MAES V, et al. Minimizing texture loss of frozen strawberries: effect of infusion with pectinmethylesterase and calcium combined with different freezing conditions and effect of subsequent storage/thawing conditions[J]. Eur Food Res Technol, 2006, 223(3): 395-404.
- [9] GIUSEPPE RIZZELLO C, NIONELLI L, CODA R, et al. Use of sourdough fermented wheat germ for enhancing the nutritional, texture and sensory characteristics of the white bread[J]. Eur Food Res Technol, 2010, 230(4): 645-654.
- [10] KAACK K, PEDERSEN L, LAERKE H N, et al. New potato fibre for improvement of texture and colour of wheat bread[J]. Eur Food Res Technol, 2006, 224(2): 199-207.
- [11] OU Shiyi, LIN Qilin, ZHANG Yuping, et al. Reduction of acrylamide formation by selected agents in fried potato crisps on industrial scale[J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2008, 9(1): 116-121.
- [12] KIRUNDA D F K, MCKEE S R. Relating quality characteristics of aged eggs and fresh eggs to vitelline membrane strength as determined by a texture analyzer[J]. Poultry Science, 2000, 79(8): 1189-1193.
- [13] 纪宗亚. 质构仪及其在食品品质检测方面的应用[J]. 食品工程, 2011(3): 22-25.
- [14] 鲜瑶, 李洪军, 贺稚非, 等. 辣椒酱微波杀菌工艺条件优化[J]. 食品科学, 2011, 32(4): 107-111.
- [15] 于慧春, 李欣, 张仲欣, 等. 采用质构仪分析氯化钙对牛肉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2009, 30(5): 23-25.
- [16] 赵晋府. 食品技术原理[M]. 2 版. 北京: 中国轻工业出版社, 2006: 396-397.
- [17] 张继红, 温韬, 王文艳, 等. 西安市放心早餐工程豆浆及黑米粥保温实验结果分析[J]. 河南预防医学杂志, 2008, 19(2): 87-88.
- [18] 韩红艳, 于继洲, 智海英. 钙处理对水果耐贮性的影响[J]. 河北果树, 2003(4): 1-3.
- [19] 唐军虎, 康玮丽, 任志艳, 等. 响应面法玉米蛋白肽锌制备条件的优化[J]. 食品工业科技, 2011, 32(3): 294-300.