

# 香椿芽腌制过程中亚硝酸盐含量变化及控制

## Changes and control optimization of the nitrite content in *Toona sinensis* in the pickling process

刘军雷<sup>1</sup> 任广跃<sup>1,2</sup> 段续<sup>1,2</sup> 张乐道<sup>1</sup>

LIU Jun-lei<sup>1</sup> REN Guang-yue<sup>1,2</sup> DUAN Xu<sup>1,2</sup> ZHANG Le-dao<sup>1</sup>

(1. 河南科技大学食品与生物工程学院, 河南 洛阳 471023; 2. 食品加工与安全国家实验教学示范中心, 河南 洛阳 471023)  
(1. College of Food and Bioengineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471023, China;  
2. National Experimental Teaching Demonstration Center of Food Processing and Security, Luoyang, Henan 471023, China)

**摘要:** 研究预处理、NaCl 浓度、温度对香椿芽腌制中亚硝酸盐变化规律的影响, 同时探讨腌制过程添加 V<sub>C</sub>、葡萄糖、姜汁对亚硝酸盐含量的影响, 并优化控制条件。结果表明: 原材料进行 Zn(Ac)<sub>2</sub> 与 EDTA-2Na 混合液漂烫处理可大大降低产品最终亚硝酸盐的含量; NaCl 浓度越高, 亚硝峰出现越晚, 峰值和亚硝酸盐含量也越高; 腌制温度低, 亚硝酸盐生成慢、含量高、高峰持续时间长。在 V<sub>C</sub> 添加量为 0.47%、葡萄糖添加量为 0.34%、姜汁添加量为 1.75% 的条件下, 腌制香椿的亚硝酸盐含量最低为 3.74 mg/kg, 且能够被消费者接受。

**关键词:** 香椿芽; 腌制; 亚硝酸盐; 控制; 模糊数学评定

**Abstract:** The effects of different pretreatments, NaCl concentration and pickling temperature on nitrite formation in the traditional pickling process of *Toona sinensis* were studied. Moreover, the change rules of the content of nitrite in the pickling process after adding V<sub>C</sub>, glucose and ginger respectively were also discussed, and the control conditions were optimized. The results showed that blanching materials with Zn(Ac)<sub>2</sub> and EDTA-2Na mixture could greatly reduce the content of nitrite in the product; the higher the NaCl concentration, the later the peak of nitrite occurred and the higher the concentration and the peak value of nitrite; the lower the pickling temperature was, the slower the nitrite produced, the higher the content was and the longer the peak duration was. When added 0.47% V<sub>C</sub>, 0.34% glucose and 1.75% ginger, the nitrite content in the conditions was

3.74 mg/kg. The products could be accepted by consumers.

**Keywords:** *Toona sinensis*; pickle; nitrite; control; fuzzy mathematics evaluation

香椿系楝科香椿属落叶乔木, 其芽脆嫩、鲜绿、浓香且富含钙、V<sub>C</sub>、磷、硫胺素等营养物质, 是中国传统木本蔬菜<sup>[1-2]</sup>。香椿芽的采摘主要集中在每年的 4、5 月份, 由于嫩芽呼吸强度较大, 采摘后仍处于旺盛的生理代谢状态, 储存过程中芽片易脱落、腐烂, 不耐贮藏, 限制了香椿的供给与消费<sup>[3-4]</sup>。为延长香椿芽的供货期通常采取腌制加工方式, 方法简单, 制品味道鲜美。香椿的硝酸盐和亚硝酸盐含量远高于一般蔬菜, 且硝酸盐在贮藏、加工、运输、烹饪的过程中会在硝酸还原酶和微生物的作用下转变成亚硝酸盐<sup>[5-6]</sup>, 摄入过多亚硝酸盐会威胁人体健康, 引起恶心、头晕、全身无力甚至呼吸衰竭<sup>[7-8]</sup>。同时亚硝酸还能和人体内胃中的含氮化合物、仲胺、叔胺、酰胺及氨基酸结合成具致癌性的亚硝胺, 从而引发消化系统癌变<sup>[9-10]</sup>。因此, 对腌制香椿芽中亚硝酸盐含量进行动态研究, 确定最佳食用期, 避开“亚硝峰”, 对保证腌制香椿芽的安全性有重要意义。

目前, 国内有关腌制香椿芽文献报道<sup>[11-13]</sup>主要集中在泡制工艺优化和腌制过程中品质的变化, 缺乏对影响亚硝酸盐含量因素以及控制措施的研究。本试验拟研究不同工艺条件下香椿芽亚硝酸盐含量的变化规律; 同时以 V<sub>C</sub>、葡萄糖、姜汁为清除剂, 研究其对亚硝酸盐的控制效果, 并优化其最佳配比, 为腌制香椿芽工业化生产提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

香椿芽: 红油椿, 洛阳炎居食品科技有限公司;  
姜: 莱芜小姜, 市售;

亚铁氰化钾、乙酸锌、硼砂: 分析纯, 天津恒兴化学试剂

**基金项目:** 国家自然科学基金面上项目(编号: 31671907); 国家重点研发项目(编号: 2017YFD0400901); 河南省高校科技创新人才支持计划项目(编号: 14HASTIT023); 河南省高校科技创新团队支持计划项目(编号: 16IRTSTHN009)

**作者简介:** 刘军雷, 男, 河南科技大学在读硕士研究生。

**通信作者:** 任广跃(1971—), 男, 河南科技大学教授, 博士。

E-mail: guangyueyao@163.com

**收稿日期:** 2017-08-13

有限公司;

对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺:分析纯,上海国药集团化学试剂有限公司;

亚硝酸钠、盐酸:分析纯,天津市鼎盛鑫华工有限公司;

V<sub>C</sub>:分析纯,天津市北辰方正试剂厂。

## 1.2 仪器与设备

电子天平:BSM-120.4型,上海皖衡电子仪器有限公司;

紫外可见分光光度计:UV2600A型,上海佑科仪器仪表有限公司;

石英比色皿:PX10Q3500型,宜兴谱析光学元件有限公司;

抽滤装置:SHB-D型,上海申光仪器仪表有限公司;

组织捣碎匀浆机:HCHL-JJ2D型,郑州欧佰仪器设备有限公司;

超声清洗器:JP-020型,深圳市洁盟清洗设备有限公司。

## 1.3 方法

1.3.1 传统腌制条件的试验处理 香椿芽经剔除病、老、黄叶后进行清洗、漂烫、沥水、晾干、切段、加盐、揉搓、封坛,定期测定腌制中亚硝酸盐的含量,Zn(Ac)<sub>2</sub>与EDTA-2Na混合液的制备:根据文献[14]。

(1) 不同预处理:选取冷水冲洗、95℃热水漂烫30s<sup>[15]</sup>、97℃的1.5mg/mL EDTA-2Na与1.5mg/mL Zn(Ac)<sub>2</sub>混合溶液漂烫60s<sup>[16]</sup>的香椿芽各200g,加入10% NaCl,用手揉搓至NaCl全部溶解,香椿呈现萎焉状态,然后装坛捣实封罐,20℃腌制,定期测量亚硝酸盐含量。

(2) NaCl浓度的影响:取经过混合液处理的香椿芽5份(200g/份),分别添加6%,8%,10%,12%,14% NaCl,20℃腌制。

(3) 腌制温度的影响:以经混合液漂烫处理、添加10% NaCl的香椿芽为研究对象,置于10,15,20,25℃腌制。

1.3.2 控制技术研究 以传统腌制为基础,物料经混合液漂烫处理、添加10% NaCl、20℃条件下,参考王树庆等<sup>[17-18]</sup>的研究,考查腌制过程中加入有抑制亚硝酸盐形成作用的物质V<sub>C</sub>、葡萄糖和姜汁对产品最终亚硝酸盐含量的影响。姜汁的制备:参照文献[19]。

(1) V<sub>C</sub>对亚硝酸盐含量的影响:固定葡萄糖添加量0.30%、姜汁1.50%,分别考查V<sub>C</sub>质量分数0.00%,0.12%,0.24%,0.36%,0.48%对香椿腌制中亚硝酸盐含量的影响。

(2) 葡萄糖对亚硝酸盐含量的影响:固定V<sub>C</sub>、姜汁添加量分别为0.36%和1.50%,分别考查葡萄糖质量分数0.00%,0.10%,0.20%,0.30%,0.40%对香椿腌制中亚硝酸盐含量的影响。

(3) 姜汁对亚硝酸盐含量的影响:固定V<sub>C</sub>、葡萄糖添加量分别为0.36%和0.30%,分别考查姜汁质量分数0.00%,0.50%,1.00%,1.50%,2.00%对香椿腌制中亚硝酸盐含量的影响。

(4) 响应面优化试验:根据单因素试验结果,选择V<sub>C</sub>、葡

萄糖、姜汁添加量作为影响因素,以腌制第16天时的亚硝酸盐含量为指标,采用Box-Behnken中心组合原理设计响应面试验方案,建立二次回归数学模型,对香椿芽腌制工艺条件参数进行优化。

## 1.4 测定指标与方法

1.4.1 亚硝酸盐含量的测定 检测试样制备:参照文献[20];亚硝酸盐标准曲线的绘制:参照文献[21];亚硝酸盐的测定:采用盐酸萘乙二胺法<sup>[22]</sup>。

1.4.2 模糊数学评定 基于模糊数学推理法的感官评定<sup>[23-24]</sup>:以“非常喜欢”“喜欢”“中立意见”“不喜欢”“非常不喜欢”为评价语集 $V=(V_1, V_2, V_3, V_4, V_5)$ ;以腌制品“颜色”“外观”“质地”“风味”“整体接受程度”为评价因素集 $U=(U_1, U_2, U_3, U_4, U_5)$ 。各评价指标对应的权重集根据段续等<sup>[25-26]</sup>的研究,设定为 $A=(\text{颜色, 外观, 质地, 风味, 整体接受程度})=(0.27, 0.25, 0.15, 0.13, 0.20)$ 。

## 1.5 统计分析

采用Origin pro 2016与Design-Expert对试验数据进行分析,每组试验重复3次,取其平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 亚硝酸盐的标准曲线

由图1可知,以吸光度Y对亚硝酸钠标准浓度X的线性回归方程为 $Y=0.0344X+0.00164$ , $R^2=0.99867$ ,亚硝酸钠在0~10μg/mL时与吸光度呈良好线性关系。

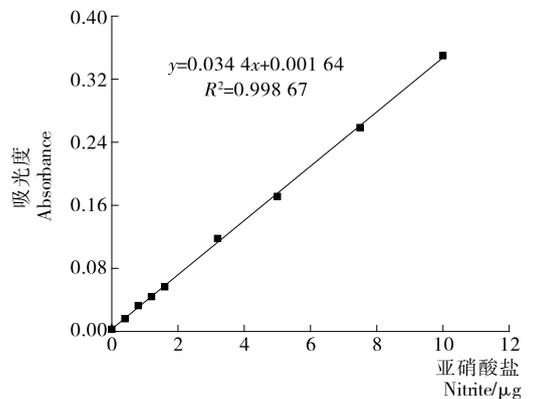


图1 亚硝酸盐标准曲线

Figure 1 Standard curve of nitrite

### 2.2 不同预处理条件下亚硝酸盐含量的变化

由图2可知,冷水清洗、热水以及混合液漂烫的香椿芽,在相同温度20℃、NaCl添加量10%的腌制发酵过程中达到“亚硝峰”的时间大致相同,但亚硝酸盐的含量差别较大。冷水清洗香椿芽的亚硝酸盐含量相对于热水漂烫的要高,更远远高于经混合液漂烫的。这是由于香椿芽在栽培过程中受环境有害菌污染所致,如腌制前只是简单冷水清洗会残留有害菌,促使硝酸盐还原生成亚硝酸盐。Zn(Ac)<sub>2</sub>与EDTA-2Na混合液漂烫降低了硝酸还原酶的活性,减弱硝酸盐向亚硝酸盐的转化,从而减少亚硝酸盐在香椿芽中的含量。

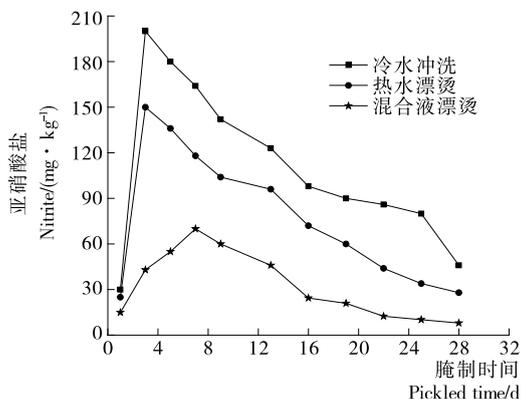


图 2 预处理对亚硝酸盐含量的影响

Figure 2 Effects of different pretreatment on content of nitrite

### 2.3 不同 NaCl 浓度下亚硝酸盐含量的变化

在腌制香椿芽的过程,不同的 NaCl 浓度对菜品中亚硝酸盐含量的影响见图 3。在环境温度为 20 °C、NaCl 添加量为 6% 时,亚硝酸盐生成较快,在腌制到第 5 天时,亚硝酸盐含量达到最大值;当 NaCl 添加量为 12%,14% 时,亚硝酸盐生成的较慢,在第 9 天时亚硝酸盐含量达到最大值,且后者比前者高,最终菜品中亚硝酸盐含量也较高。表明腌制初期,由于乳酸生成量较少,NaCl 的抑菌作用成为主要因素,NaCl 浓度低,对硝酸还原菌的生长抑制作用小,使亚硝酸盐生成的速度快,达到峰值的时间短。NaCl 浓度高,对硝酸还原菌的抑制作用大,亚硝酸盐生成的速度慢,达到峰值的时间也就长。因乳酸菌的活动能力是随 NaCl 浓度的增高而减弱,所以随着乳酸发酵的顺利进行,低盐的腌制物其酸度较高,使硝酸盐还原受到抑制,亚硝酸盐含量下降。与岳虹等<sup>[27-28]</sup>的研究一致。

### 2.4 不同温度下亚硝酸盐含量的变化

由图 4 可知,温度对香椿芽腌制过程中亚硝酸盐含量的生成期有显著影响。在 NaCl 添加量为 10%,温度为 10,15,20,25 °C 4 种环境下,亚硝酸盐含量基本呈一致的变化趋势,但出现峰值的时间及大小不一样。腌制温度高,“亚硝峰”生成早,最终亚硝酸盐含量低;腌制温度低,“亚硝峰”生成

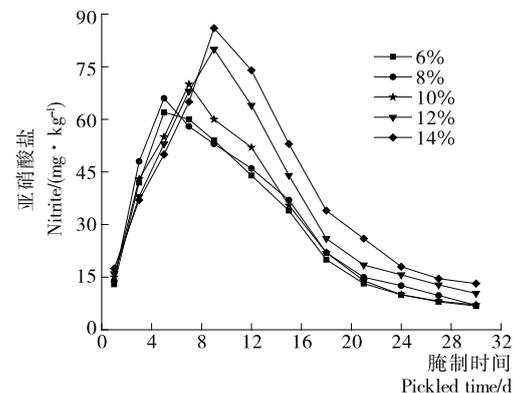


图 3 NaCl 浓度对亚硝酸盐含量的影响

Figure 3 Effects of NaCl concentrations on content of nitrite

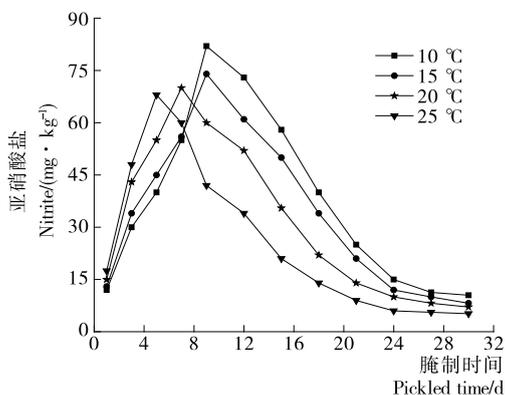


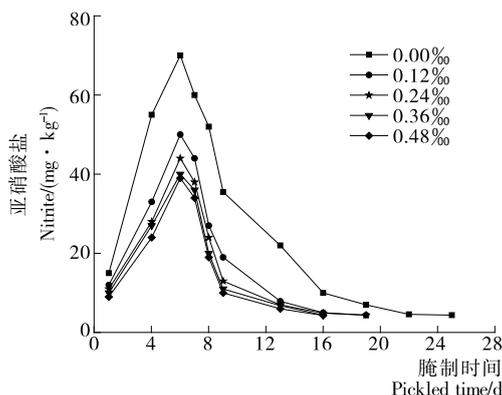
图 4 温度对亚硝酸盐含量的影响

Figure 4 Effects of temperatures on content of nitrite

得晚,但最终亚硝酸盐含量高。表明温度高,还原菌活动能力强,形成亚硝酸盐快,温度较高时乳酸发酵能顺利进行,迅速升高的酸度,使硝酸还原菌的活动受到抑制。亚硝酸盐被旺盛腌制形成的乳酸分解,使亚硝酸盐含量快速降低。温度较低时乳酸菌生长受到抑制,腌制产酸速度减慢,硝酸还原菌活动受到抑制,但还原过程还在进行,这种亚硝酸盐缓慢生成、分解的过程,形成一定量的积累,从而在一定时间达到高峰。所以,低温腌制的腌菜亚硝酸盐的含量较高。与杨贤庆等<sup>[29-30]</sup>的研究结论相似。

### 2.5 不同清除剂对亚硝酸盐的控制效果

2.5.1  $V_C$  添加量对亚硝酸盐含量的影响 由图 5 可知,腌制品中亚硝酸盐含量与  $V_C$  添加量的关系密切。第 6 天时亚硝酸盐含量出现峰值,其中对照最高(70 mg/kg), $V_C$  添加量为 0.48% 时峰值最低(39 mg/kg),比对照减少了 44.29%。第 16 天时,对照亚硝酸盐含量为 10 mg/kg,添加 0.48%  $V_C$  时亚硝酸盐含量为 4.3 mg/kg,比对照降低了 57%,可知添加  $V_C$  能明显降低腌制品中亚硝酸盐含量。这是由于  $V_C$  没有羧基,酸性来自烯二醇的羟基,由于羟基和羰基相邻,烯二醇基极不稳定,可与各种金属成盐,解离出  $H^+$ ,而  $H^+$  能与亚硝酸盐反应,消耗亚硝酸盐,降低含量。从第 6 天“亚硝峰”之后的曲线走势可发现,亚硝酸盐含量递减速率减慢,此现象与李珊等<sup>[31]</sup>的研究结论相似,这与香椿腌制过程中细胞破裂、组织萎焉、液汁流失及  $V_C$  氧化的酶的作用致使  $V_C$

图 5  $V_C$  添加量对亚硝酸盐含量的影响Figure 5 Effects of  $V_C$  on content of nitrite

被氧化而减少有关。

2.5.2 葡萄糖添加量对亚硝酸盐含量的影响 由图6可知,各试验组均在第6天出现亚硝酸盐含量峰值,且亚硝酸盐随着葡萄糖含量的增加而减少,添加0.40%葡萄糖时比对照降低了41.4%。第16天时添加0.10%,0.20%,0.30%,0.40%的试验组比对照分别降低了31%,44%,46%,50%,表明葡萄糖对亚硝酸盐有良好的抑制作用,但此现象与艾对元等<sup>[32]</sup>得出葡萄糖单独作用对亚硝酸盐没有显著清除效果的结论有差异,而腌制并不是单一过程,存在多种物质协同作用。葡萄糖本身具有半缩醛羟基,有一定还原能力,在与其他物质发生交互作用后,使其降解能力增强。此推断与郑桂福等<sup>[33]</sup>发现腌制过程中加糖可减弱亚硝酸盐形成的结论相似。

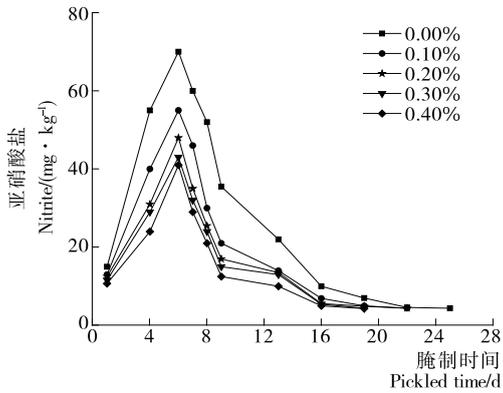


图6 葡萄糖添加量对亚硝酸盐含量的影响

Figure 6 Effects of glucose on content of nitrite

2.5.3 姜汁添加量对亚硝酸盐含量的影响 由图7可知,添加姜汁对亚硝酸盐含量影响很大,第7天时亚硝酸盐含量出现峰值,姜汁添加量为2.0%时最低。第16天时,对照组亚硝酸盐含量为11 mg/kg,添加0.5%姜汁时为7 mg/kg,比对照低36.37%,添加1.0%,1.5%,2.0%姜汁时亚硝酸盐含量比对照分别降低54.55%,60.00%,61.00%。张平等<sup>[34]</sup>研究表明姜汁可以降低腌制品中亚硝酸盐含量,其机理是姜中的线形二苯基庚烷类环状二苯基庚烷类化合物能抑制氧自由基的生成,而且对N-二甲基亚硝胺的合成有一定的阻断作用。图7中对照组在第13天时,亚硝酸盐含量仍然高于中

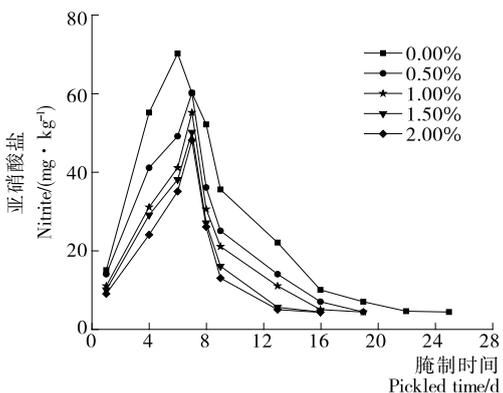


图7 姜汁添加量对亚硝酸盐含量的影响

Figure 7 Effects of ginger juice on content of nitrite

国规定的最高残留量(20 mg/kg),而处理组普遍在第9天开始就低于此含量。其中姜汁添加量为1.00%的试验组,在第9天时亚硝酸盐含量就降解到对照组第13天的水平,有效缩短了腌制周期,与马超等<sup>[35]</sup>发现盐渍滑子菇中添加新鲜姜汁使亚硝酸盐形成受阻的结论相似。由此可见,腌制过程中加入适量姜汁,能有效地阻断亚硝酸盐形成,缩短腌制周期。

2.6 响应面试验结果

根据单因素试验分析结果设定响应面试验因素水平见表1,试验结果见表2。

表1 Box-Behnken 试验设计因素与试验水平  
Table 1 The factors and levels of Box-Behnken design

编码水平	X <sub>1</sub> V <sub>C</sub> /‰	X <sub>2</sub> 葡萄糖/%	X <sub>3</sub> 姜汁/%
-1	0.24	0.2	1.0
0	0.36	0.3	1.5
1	0.48	0.4	2.0

表2 Box-Behnken 试验设计与结果  
Table 2 Box-Behnken experimental design and results

试验号	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Y 亚硝酸盐含量/(mg · kg <sup>-1</sup> )
1	0	0	0	4.31
2	0	1	1	4.12
3	1	0	-1	4.43
4	-1	0	-1	5.83
5	1	-1	0	4.62
6	0	1	-1	5.32
7	-1	1	0	4.88
8	0	0	0	4.26
9	0	0	0	4.23
10	-1	0	1	4.84
11	0	0	0	4.23
12	0	-1	-1	5.55
13	0	-1	1	5.25
14	-1	-1	0	6.05
15	1	1	0	4.05
16	1	0	1	4.08
17	0	0	0	4.21

2.6.1 亚硝酸盐含量的响应面分析 利用 Design-Expert 8.05b 软件对表2中的数据进行回归分析,得出亚硝酸盐残留量的回归方程:

$$Y = 4.28 - 0.61X_1 - 0.39X_2 - 0.41X_3 + 0.15X_1X_2 + 0.053X_1X_3 - 0.23X_2X_3 + 0.12X_1^2 + 0.49X_2^2 + 0.28X_3^2 \quad (1)$$

各项回归系数及其显著性检验结果见表3。

由表3可知,本试验回归模型 P<0.000 1,回归系数 R<sup>2</sup>=0.986 2、R<sup>2</sup><sub>Adj</sub>=0.979 5,说明该模型显著,且能解释97.95%响应曲面的变化;失拟项 P=0.239 1>0.05,失拟不显著,说明该模型预测值与实际数据拟合良好,试验误差小。一次项 X<sub>1</sub>、X<sub>2</sub>、X<sub>3</sub> 和二次项 X<sub>2</sub><sup>2</sup>、X<sub>3</sub><sup>2</sup> 以及交互项 X<sub>2</sub>X<sub>3</sub> 的 P<

表 3 亚硝酸盐含量方差分析表<sup>†</sup>  
Table 3 Anova table of nitrite content

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著水平
模型	7.330	9	0.810	85.94	<0.000 1	$\alpha=0.01$
X <sub>1</sub>	2.940	1	2.940	310.46	<0.000 1	$\alpha=0.01$
X <sub>2</sub>	1.200	1	1.200	126.84	<0.000 1	$\alpha=0.01$
X <sub>3</sub>	1.340	1	1.340	141.13	<0.000 1	$\alpha=0.01$
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	0.090	1	0.090	9.50	0.017 7	$\alpha=0.05$
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	0.011	1	0.011	1.16	0.316 4	不显著
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	0.200	1	0.200	21.38	0.002 4	$\alpha=0.01$
X <sub>1</sub> <sup>2</sup>	0.062	1	0.062	6.59	0.037 2	$\alpha=0.05$
X <sub>2</sub> <sup>2</sup>	1.030	1	1.030	108.60	<0.000 1	$\alpha=0.01$
X <sub>3</sub> <sup>2</sup>	0.330	1	0.330	35.29	0.000 6	$\alpha=0.01$
残差	0.066	7	9.471E-003			
失拟项	0.041	3	0.014	2.13	0.239 1	不显著
纯误差	0.026	4	6.380E-003			
总变异	7.390	16				

<sup>†</sup>  $R^2=0.986 2; R_{\text{adj}}^2=0.979 5$ 。

0.001,说明 V<sub>C</sub>、葡萄糖、姜汁以及葡萄糖与姜汁的交互作用对亚硝酸盐影响高度显著;二次项 X<sub>1</sub><sup>2</sup>与交互项 X<sub>1</sub>X<sub>3</sub>的 P<0.05,说明对亚硝酸盐影响显著,而其余项对亚硝酸盐影响不显著,对因子进行剔除,得到亚硝酸盐随 V<sub>C</sub>、葡萄糖、姜汁添加量变化的标准回归模型为:

$$Y=4.28-0.61X_1-0.39X_2-0.41X_3+0.15X_1X_2-0.23X_2X_3+0.12X_1^2+0.49X_2^2+0.28X_3^2 \quad (2)$$

由表 3 可知,各因素对亚硝酸盐抑制作用影响大小依次为:V<sub>C</sub>>姜汁>葡萄糖。

2.6.2 亚硝酸盐抑制工艺的优化与验证 由优化结果可知,抑制亚硝酸盐形成工艺的最佳条件为:V<sub>C</sub> 0.47%、葡萄糖 0.34%、姜汁 1.75%,该条件下亚硝酸盐含量的理论值为 3.65 mg/kg;为验证响应面优化的可行性,采用上述优化条件进行腌制,亚硝酸盐含量为 3.74 mg/kg,与理论值相差 2.47%,说明响应面优化的条件是可行的。

### 2.7 基于模糊数学推理法的感官评定

各评价员对最佳腌制条件下所得到的香椿芽制品进行评价,结果见表 4。将表 4 中样品评价因素所得票数折算成比率,结合所有因素的评价结果获取模糊矩阵。

$$R = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

由权重分配得出综合评判:

$$Y=A \times R =$$

$$(0.27, 0.25, 0.15, 0.13, 0.20) \times \begin{bmatrix} 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.1 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix} = (0.138, 0.434, 0.263, 0.125, 0.040) \quad (4)$$

评判结果表明,评价员对最优腌制条件下香椿芽认为“非常喜欢”的占 13.8%，“喜欢”的占 43.4%，“中立意思”的占 26.3%，“不喜欢”的占 12.5%，“非常不喜欢”的占 4%，根据最大隶属原则,结论是“喜欢”，可以被消费者接受。

表 4 腌制香椿芽感官评定统计

Table 4 Panel responses for preference of each sample

评价指标	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	总数
U <sub>1</sub>	1	5	2	1	1	10
U <sub>2</sub>	2	4	2	2	0	10
U <sub>3</sub>	1	4	4	1	0	10
U <sub>4</sub>	2	3	3	1	1	10
U <sub>5</sub>	1	5	3	1	0	10

## 3 结论

本试验研究了预处理方法、NaCl 浓度、温度对腌制香椿芽亚硝酸盐形成与变化的规律。在此基础上,通过响应面分析对降解工艺进行优化得出:各因素对亚硝酸盐抑制作用影响大小依次为:V<sub>C</sub>>姜汁>葡萄糖。最佳条件为:V<sub>C</sub> 0.47%、葡萄糖 0.34%、姜汁 1.75%。该条件下,产品在第 16 天的亚硝酸盐含量为 3.74 mg/kg。通过基于模糊数学感官评价,得出最佳腌制条件下的香椿芽可以被消费者接受。此

研究主要针对的是产品的安全性,在后续研究中将进一步探讨产品感官质量、营养成分,寻求其在实际应用中与安全的平衡点。

### 参考文献

- [1] 周翔宇. 中国香椿属的研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2005: 26-39.
- [2] YU Wen-jen, CHANG Chen-chin, KUO Tong-fong, et al. Toona sinensis Roem leaf extracts improve antioxidant activity in the liver of rats under oxidativestress[J]. Food and Chemical Toxicology, 2012, 50(6): 1 860-1 865.
- [3] 陈丛瑾, 黄克瀛, 李德良, 等. 香椿叶总黄酮的超声波辅助提取及其清除 DPPH 自由基能力的研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(1): 76-80.
- [4] 王赵改, 陈丽娟, 张乐, 等. 不同采收期红油香椿营养成分和抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2015, 36(4): 158-163.
- [5] 孙震, 钱和, 蒋将. 蔬菜中硝酸盐与亚硝酸盐检测方法的研究进展[J]. 食品与机械, 2006, 22(5): 123-125.
- [6] KEETON J T. History of nitrite and nitrate in food [M]// Nitrite and Nitrate in Human Health and Disease. [S.l.]: Humana Press, 2010: 69-84.
- [7] 何浩, 陈幸莺, 孙映球, 等. 顶空-气相色谱法测定食品中亚硝酸盐[J]. 食品与机械, 2017, 33(1): 55-58.
- [8] 陈利梅, 李德茂, 曾庆华, 等. 不同条件下蔬菜中亚硝酸盐含量的变化[J]. 食品与机械, 2009, 25(3): 103-105.
- [9] KLURFIELD D M. Nitrite and nitrate in cancer [M]// Nitrite and Nitrate in Human Health and Disease. [S.l.]: Humana Press, 2011: 263-278.
- [10] HORD N G. Dietary nitrates, nitrites, and cardiovascular disease[J]. Current Atherosclerosis Reports, 2011, 13(6): 484-492.
- [11] 张志国, 孙迪. 泡制香椿亚硝酸盐变化规律及其降低措施研究[J]. 中国调味品, 2016(1): 30-34.
- [12] 徐文博, 杨海艳, 谢美华, 等. 不同预处理方法对香椿中主要成分的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2015(11): 135-139.
- [13] 赵明焯, 戴蕴青, 苏春元, 等. 干制和热烫加工对香椿品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(21): 11 070-11 072.
- [14] 黄敏, 李静静, 余萃, 等. 几种食前处理对蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐的去除效果[J]. 食品科学, 2011, 32(9): 82-86.
- [15] 陈丽娟, 王赵改, 杨慧, 等. 漂烫时间及贮藏温度对香椿嫩芽品质的影响研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(2): 19-23.
- [16] 张京芳, 王冬梅, 刘鑫. 干制香椿褐变的控制研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(2): 144-148.
- [17] 王树庆, 姜薇薇, 房晓, 等. 抗坏血酸的亚硝酸盐清除能力的研究[J]. 中国调味品, 2011, 36(11): 22-24.
- [18] 黄丽慧, 张雁, 陈于陇, 等. 发酵蔬菜中亚硝酸盐消长规律及调控技术的研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 303-307.
- [19] 张平, 叶文慧, 石志华. 姜汁对亚硝酸盐清除作用的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(4): 73-75.
- [20] 周志才, 王美兰. 香椿腌制及储藏过程中品质变化的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(12): 180-183.
- [21] 郭金全, 李富兰. 亚硝酸盐检测方法研究进展[J]. 当代化工, 2009, 38(5): 546-549.
- [22] 中华人民共和国国家标准. GB 5009.33—2016 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016: 10-12.
- [23] 霍红. 模糊数学在食品感官评价质量控制方法中的应用[J]. 食品科学, 2004, 25(6): 185-188.
- [24] 刘朝建, 康怀彬, 等. 模糊数学综合评判法在烧鸡加工中的应用[J]. 食品研究与开发, 2016(3): 19-22.
- [25] 段续, 刘文超, 任广跃, 等. 双孢菇微波冷冻干燥特性及干燥品质[J]. 农业工程学报, 2016, 32(12): 295-302.
- [26] 曾维丽, 刘中华, 张臻, 等. 模糊数学在香菇酱罐头感官评价中的应用[J]. 中国调味品, 2014(8): 51-53.
- [27] 岳虹. 影响腌制雪里蕻亚硝酸盐含量的因素研究[J]. 食品工程, 2010(4): 42-45.
- [28] 谭兴和, 时莎莎, 谭亦成, 等. 干豆角发酵过程中的成分变化[J]. 食品与机械, 2011, 27(4): 29-31.
- [29] 杨贤庆, 樊丽琴, 陈胜军, 等. 咸鱼干腌过程中亚硝酸盐和硝酸盐的含量变化及其相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2009(10): 55-58.
- [30] 刘素纯, 罗晓敏, 胡铮璐, 等. 黄菜亚硝酸盐含量的降低及其安全性评价研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 90-92, 155.
- [31] 李珊, 李永峰, 王之波, 等. 蔬菜、腌菜亚硝酸盐测定及 Vc 对亚硝酸盐阻断[J]. 中国公共卫生, 2004, 20(3): 357-357.
- [32] 艾对元, 张卫兵, 冯丽丹, 等. 几种物质对亚硝酸盐清除作用的比较[J]. 食品工业科技, 2013, 34(23): 118-121.
- [33] 郑桂富, 徐振相. 控制雪里蕻腌制过程中亚硝酸盐形成的研究[J]. 食品科学, 2002, 23(9): 56-58.
- [34] 张平, 叶文慧, 石志华. 姜汁对亚硝酸盐清除作用的研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(4): 73-75.
- [35] 马超, 唐玉琴. 降低盐渍滑子菇中亚硝酸盐含量的研究[J]. 北方园艺, 2013(3): 146-148.

(上接第 37 页)

- [10] 段沅杏, 吴亿勤, 杨威, 等. GC/MS 法同时测定电子烟烟气释放物中的 5 种醇类化合物[J]. 烟草科技, 2015(10): 43-47, 61.
- [11] 韩书磊, 陈欢, 刘彤, 等. 气相色谱法分析电子烟烟液中主要生物碱含量[J]. 分析科学学报, 2015(4): 494-498.
- [12] 杨继, 段沅杏, 赵伟, 等. 顶空-固相微萃取-气相色谱/质谱分析电子烟烟液中的挥发性成分[J]. 烟草科技, 2015(4): 42-48.
- [13] 韩书磊, 陈欢, 刘彤, 等. 气相色谱法同时测定电子烟烟液中主

- 要化学成分含量[J]. 安徽农业科学, 2014(24): 8 344-8 347.
- [14] 温光和, 杨雪燕, 潘红成, 等. 电子烟雾化液挥发性成分分析及开发思路探讨[J]. 香料香精化妆品, 2016(3): 6-10, 17.
- [15] STEVENS R. CORESTA electronic cigarette task force[R]. Silver Spring: FDA Public Workshop-Electronic Cigarettes and the Public Health, 2014.
- [16] 卢昕博, 蒋健, 胡安福, 等. 气相色谱-质谱法测定电子烟烟液中的 7 种溶剂[J]. 理化检验: 化学分册, 2016(9): 1 041-1 044.
- [17] 丁彩霞, 李钢, 郑赛晶, 等. 固相萃取-气相色谱-质谱法分析电子烟烟液中的香味成分[J]. 分析实验室, 2016(7): 846-849.