

## 青椒酱熬制过程中品质变化及护色模型构建

胡荣念<sup>1,2</sup>, 王修俊<sup>1,2,3\*</sup>, 陈颜红<sup>1,2</sup>, 张露<sup>1,2</sup>, 许九红<sup>1,2</sup>, 李佳敏<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 贵州大学酿酒与食品工程学院 贵阳 550025

<sup>2</sup> 贵州省发酵工程与生物制药重点实验室 贵阳 550025

<sup>3</sup> 贵州大学辣椒产业技术研究院 贵阳 550025)

**摘要** 为研究青辣椒酱熬制过程中的品质变化并构建相关护色模型,以叶绿素保存率、 $a^*$ 值、15 d 内色差值( $\Delta E$ )、感官评分为考量指标,所得综合评分为评价指标,选用磷酸氢二钠(A)、葡萄糖酸锌(B)、D-异抗坏血酸钠(C)3种护色剂做护色试验。单因素实验结果表明:3种护色剂的最适添加量分别为:A(0.3%)、B(0.075%)、C(0.07%)。采用响应曲面方法,以综合评分为响应值,研究3种护色剂配方对青辣椒酱色泽的影响。结果表明:3种护色剂对青辣椒酱色泽的影响不同,排序为A>C>B。构建的青椒酱色泽影响因素二次多项式回归方程模型为: $Y_{\text{综合评分}}=+0.85+0.080A+0.030B-0.048C+0.063AB+0.072AC-0.012BC-0.12A^2-0.020B^2-0.15C^2$ ,其决定系数 $R^2$ 为0.9825,说明试验数据和该模型试验相关性较好,可用来确定青辣椒酱最佳护色配方,即:磷酸氢二钠添加量0.30%、葡萄糖酸锌添加量0.09%、D-异抗坏血酸钠添加量0.07%。用此配方制作的青辣椒酱色泽翠绿且有光泽, $a^*$ 值为-4.33,感官评分94.35,综合评分0.91。青辣椒酱叶绿素保存率为72.62%,相较于未护色处理的保存率(仅55.78%),提升了30.19%,护色效果明显优于传统工艺。本研究构建的护色模型,能确实反映所选护色剂对青椒酱色泽品质的影响,确定最佳护色工艺,并解决了青辣椒酱叶绿素褐变问题。

**关键词** 青辣椒酱; 叶绿素褐变; 护色剂; 红绿度值( $a^*$ ); 色差值( $\Delta E$ )

**文章编号** 1009-7848(2024)09-0354-12 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.09.033

贵州省是全国优质辣椒的主产区<sup>[1]</sup>,拥有全国唯一的国家级辣椒市场<sup>[2]</sup>。作为辣椒种植大省<sup>[3]</sup>,产销规模常年位居全国首位<sup>[4]</sup>,辣椒产业发展基础较好,势头强劲<sup>[5-6]</sup>。所种植的青辣椒颜色翠绿鲜艳<sup>[7]</sup>,含有维生素C<sup>[8]</sup>、碳水化合物、钙等生命必需营养物质<sup>[9]</sup>。因其含有特有的辛辣风味,具有增进食欲,帮助人体消化等优点而深受消费者的青睐<sup>[10]</sup>。青辣椒种植面积逐年扩增,当夏季大量上市时,因加工、贮藏等技术方面的原因,导致青辣椒品质有变,价格下降,造成增产不增收的局面。若等青辣椒成熟为红辣椒再采摘,虽能实现错峰采摘缓冲价格战,但暂缓采摘会降低后续的青椒结果率,给产业发展带来不利影响。相较于已规模化、品牌化的红辣椒制品<sup>[11]</sup>,鲜青辣椒加工较滞后,加工方式

也较单一。青辣椒酱是较常见的青辣椒制品,然而,其在加工与贮藏过程中会出现叶绿素褐变的问题,从而导致色泽变化,产品品质极不稳定。青椒酱叶绿素褐变是亟待解决的问题。

青辣椒的主要呈色物质为叶绿素(chlorophyll)<sup>[12-13]</sup>,由于是四吡咯衍生物,其中的卟啉环处于二氢形式,中心的金属原子为镁,当叶绿素在有机酸的环境中时,结构分子中的镁离子与氢离子置换生成脱镁叶绿素,进而生成焦脱镁叶绿素,在这一过程中青辣椒色泽由翠绿色变成黄褐色<sup>[14]</sup>。即在青辣椒加工与贮藏的过程中,导致青椒色泽褐变的主要原因为酸性条件下叶绿素降解<sup>[15]</sup>。因此,保持青辣椒酱颜色的关键是最大程度地防止和减少叶绿素降解。目前常用的护色剂有:柠檬酸<sup>[16]</sup>、葡萄糖酸锌、D-异抗坏血酸钠<sup>[17]</sup>、阿魏酸<sup>[18]</sup>、植酸<sup>[19]</sup>等。常见的护色方法有:金属离子取代镁离子,使用抗氧化剂,避光储存等<sup>[20]</sup>。

磷酸氢二钠属于食品级磷酸盐,可通过控制叶绿素降解过程中溶液中的氢离子浓度,并形成静电屏蔽效应,从而减缓叶绿素的脱镁作用,有效解决叶绿素褐变问题<sup>[21-23]</sup>。葡萄糖酸锌中的 $Zn^{2+}$ 可

**收稿日期:** 2023-09-20

**基金项目:** 贵州省科技计划重点项目(黔科合支撑[2022]重点010号);贵州省朝天椒产业集群建设项目(黔农财[2022]89号);贵州省科技平台项目(黔科合平台人才[2020]2102号)

**第一作者:** 胡荣念,女,硕士生

**通信作者:** 王修俊 E-mail: 775298123@qq.com

取代叶绿素中的镁离子,生成相应的更为稳定的叶绿素-金属离子衍生物,从而保护绿色蔬菜的色泽<sup>[24-26]</sup>。*D*-异抗坏血酸钠具有较强的还原性<sup>[27-28]</sup>,叶绿素在过量光能下能转变为高能态,通过传递能量使得环境中的<sup>3</sup>O<sub>2</sub>(三线态氧)转变为<sup>1</sup>O<sub>2</sub>(单线态氧),<sup>1</sup>O<sub>2</sub>(单线态氧)易与叶绿素分子中构成共轭体系的多个具有很高电荷密度的R=R基团反应,从而造成绿色果蔬制品叶绿素的降解<sup>[29]</sup>。*D*-异抗坏血酸钠可在果蔬加工及贮藏过程中作为抗氧化剂对叶绿素的降解发挥作用。本试验在前期研究的基础上,研究上述3种护色剂以及避光储存<sup>[30]</sup>对青辣椒酱色泽、叶绿素保存率及品质变化的影响。在单因素实验基础上,以综合评分为响应值,结合Box-Behnken试验设计做响应面试验,构建回归方程模型,以期为青辣椒酱熬制过程中叶绿素褐变提供技术参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料与试剂

青线椒、食用油、食盐及香辛料,购自沃尔玛超市;蔗糖,宁波新芝生物科技股份有限公司;丙酮(分析纯),上海研域生物科技有限公司;乙醇(分析纯),天津市科密欧化学试剂有限公司。

### 1.2 主要仪器与设备

移液枪(10~5 000 μL),大龙医疗设备上海有限公司;电子精密天平(FA2002B),上海越平科学仪器有限公司;高速分散器(XHF-D),宁波新芝生物科技股份有限公司;pH酸度计(pHS-3C),上海鸿盖仪器有限公司;分光光度计(722),上海佑科仪器仪表有限公司;色差仪(HP-2136),上海临嘉科教仪器有限公司。美的多功能电磁炉(MC-SP1915),广东美的电器制造有限公司;电子恒温鼓风干燥箱(GZX-GF101-3-BS-II),上海贺德试验设备有限公司;高速多功能粉碎机(HC-300T2),永康市天祺盛世工贸有限公司;高速离心机(SIGMA2-16K),德国西格玛公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 青辣椒酱样品的制备 熬制工艺选用本实验室之前的研究,即:油料比0.5:1、食盐添加量1.5%、熬制终温100℃、升温速度10℃/min。该工艺下,在熬制容器中依次加入食用油、已搅碎的青辣

椒(包括姜、蒜等)和盐等香辛料,然后进行加热熬制,并不停搅拌,直至最佳熬制终温后停止加热。

### 1.3.2 青椒酱护色技术单因素实验设计

1) 磷酸氢二钠对青辣椒酱品质的影响 在熬制前已搅碎的青辣椒中分别添加0%,0.1%,0.2%,0.3%,0.4%,0.5%的磷酸氢二钠(Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>),然后进行加热熬制,并不停搅拌到产品熬制结束,分别测定不同磷酸氢二钠添加量下青辣椒酱的叶绿素保存率、*a*<sup>\*</sup>值、感官评定,并每隔3d继续进行色泽测定至15d。

2) 葡萄糖酸锌对青辣椒酱品质的影响 在熬制前已搅碎的青辣椒中分别添加0%,0.025%,0.05%,0.075%,0.1%,0.125%的葡萄糖酸锌,然后进行加热熬制,并不停搅拌到产品熬制结束,分别测定不同葡萄糖酸锌添加量下青辣椒酱的叶绿素保存率、*a*<sup>\*</sup>值、感官评定,并每隔3d继续进行色泽测定至15d。

3) *D*-异抗坏血酸钠对青辣椒酱品质的影响 在熬制前已搅碎的青辣椒中分别添加0%,0.01%,0.03%,0.05%,0.07%,0.09%的*D*-异抗坏血酸钠,然后进行加热熬制,并不停搅拌到产品熬制结束,分别测定不同*D*-异抗坏血酸钠添加量下青辣椒酱的叶绿素、*a*<sup>\*</sup>值、感官评定,并每隔3d继续进行色泽测定至15d。

4) 避光贮藏对青辣椒酱品质的影响 将青辣椒酱进行避光贮藏和不避光贮藏,分别测定不同包装方式下青辣椒酱的*a*<sup>\*</sup>值、Δ*E*值,并每隔3d进行测定至15d。

5) Box-Behnken试验设计 在护色技术单因素实验的基础上,根据Box-Behnken试验设计原理,进行响应面试验,以叶绿素保存率、*a*<sup>\*</sup>值、感官评定为指标,采用隶属度综合评分方法得到综合评分为响应值,以获得青辣椒酱护色技术的最佳工艺参数。

1.3.3 色差测定 将熬制好的青辣椒酱装入透明自封袋平铺,用色差仪进行测定样品6个位置的*L*<sup>\*</sup>、*a*<sup>\*</sup>、*b*<sup>\*</sup>值,取其平均值。其中*L*<sup>\*</sup>表示青辣椒酱的亮度值,*L*<sup>\*</sup>值越大样品亮度越接近白色;*a*<sup>\*</sup>表示青辣椒酱的红绿度值,*a*<sup>\*</sup><0时,其绝对值越大则样品颜色越接近于纯绿色;*b*<sup>\*</sup>表示黄蓝度值,*b*<sup>\*</sup>>0时,值越大接近纯黄色。以Δ*E*表示总色差,Δ*E*越

小,样品色泽越接近于新鲜青辣椒,总体褐变程度小, $\Delta E$ 越大,表明青辣椒酱色泽变化越明显,计算公式如下:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (1)$$

式中: $\Delta L^*$ 、 $\Delta a^*$ 、 $\Delta b^*$ 分别表示青辣椒酱不同时间段的 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 的变化值。

1.3.4 叶绿素保存率测定 参照 NY/T 3082-2017《水果、蔬菜及其制品中叶绿素含量的测定分光光度法》测定。

$$\text{叶绿素保存率}(\%) = \frac{\text{青辣椒酱叶绿素含量}}{\text{新鲜青辣椒叶绿素含量}} \times 100 \quad (2)$$

1.3.5 感官评价 组织 10 名食品相关专业品评人员分别对青辣椒酱色泽、气味、滋味、组织状态 4 个方面进行感官评分。参照 GB/T 20293-2006《油辣椒》的相关要求,并结合本章主要研究青辣椒酱的护色技术及护色后口感风味的协调性,因此,对青辣椒酱色泽、气味、滋味、组织状态计算权重分别设置为 50%,10%,20%,20%。

表 1 青辣椒酱感官评价表

Table 1 Sensory evaluation table of green pepper sauce

项目	感官评价标准	评分/分
色泽(50分)	酱体呈现翠绿色,有光泽,色泽均匀	36~50
	酱体呈现黄绿色,色泽较均匀	31~35
	酱体呈现黄褐色,光泽暗淡,色泽不均匀	16~30
气味(10分)	气味纯正,香味较浓,青椒与辅料协调,无异味	8~10
	气味正常,香味较浓,辅料一定程度上掩盖了青椒独特的清香,气味协调性较差,无异味	5~7
	无青椒的清香味,气味协调性差,有异味	0~4
滋味(20分)	咸、辣味协调,口感好,滋味独特	16~20
	辣味较淡,口感较好,无异味	11~15
	无青椒的滋味,滋味协调性差	5~10
组织状态(20分)	酱体呈半固态状,质地均匀细腻,黏稠适度,没有杂质	16~20
	酱体介于半固态与流态之间,质地较均匀细腻,较黏稠,没有杂质	11~15
	酱体不均匀,可流动	5~10

1.3.6 综合评分方法 由于各因素指标取值范围不同,为了消除纲量影响,需要对各指标值进行模糊变换。按下式,将指标 $X$ 换算成[0,1]区间内的分数值:

感官评分、叶绿素保存率越大越好,隶属度按下式计算:

$$L = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

$a^*$  越小越好,隶属度按下式计算:

$$L = \frac{X_{\max} - X_i}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (4)$$

式中: $X_i$ 为测定指标值; $X_{\min}$ 为测定指标最小值; $X_{\max}$ 为测定指标最大值。

本试验主要研究青辣椒酱的护色技术与护色后口感风味的协调性,结合产品特异性,设定感官评分、叶绿素保存率、 $a^*$ 值为综合评价指标,权重分别为 0.40,0.30,0.30。令指标隶属度分别为

$L$  感官评分、 $L$  叶绿素保存率、 $L_{a^*}$ 。综合评分 $Z$ 公式为:

$$Z = L_{\text{感官评分}} \times 0.40 + L_{\text{叶绿素保存率}} \times 0.30 + L_{a^*} \times 0.30 \quad (5)$$

1.3.7 数据分析 将每个试验设置 3 个平行组,得到的数据采用 Excel 2019、SPSS 24.0 进行统计分析,图形采用 origin 2021 绘制,响应面试验采用 Design-Expert 8.0.6 软件设计与分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 磷酸氢二钠对青辣椒酱品质的影响

磷酸氢二钠对青辣椒酱品质指标的影响如图 1 所示,对青辣椒酱 $\Delta E$ 值的影响如图 2 所示。

如图 1 所示,随着磷酸氢二钠添加量的增加,青辣椒酱的 $a^*$ 值降低,叶绿素保存率逐渐增大,叶绿素保存率逐渐增大,这是由于食品级磷酸盐具有缓冲作用和静电屏蔽作用,能有效解决叶绿素褐变问题<sup>[31]</sup>。感官评分先增大后降低,产品综合评

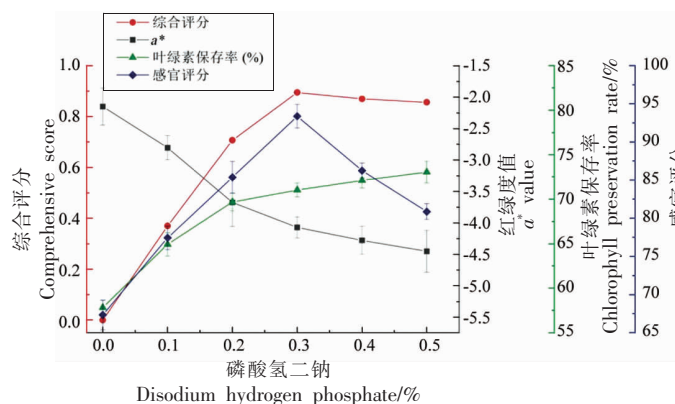


图1 磷酸氢二钠对青辣椒酱品质指标的影响

Fig.1 Effect of disodium hydrogen phosphate on quality index of green pepper sauce

分呈先上升后缓慢降低趋势。当添加量为 0.3% 时,感官评分(93.38)和综合评分(0.89)达到最大值,此时的  $a^*$  值为 -4.07, 叶绿素保存率为 71.04%;随着添加量的继续增加,  $a^*$  值逐渐降低, 叶绿素保存率缓慢增加, 青辣椒酱由于青椒的组织逐渐软化, 酱体出现浑浊不均匀、可流动的问题,感官评分快速降低,综合评分降低。推测原因:适量的磷酸盐可以与果蔬表皮中钙发生络合,减少表皮坚硬程度,从而可使果蔬的组织保持细腻,但添加过量会导致果蔬的组织过于软化<sup>[32]</sup>。

如图 2 可知,随着添加量的增加,  $\Delta E$  整体逐渐降低,青辣椒酱贮藏 15 d 内的褐变速率也在降

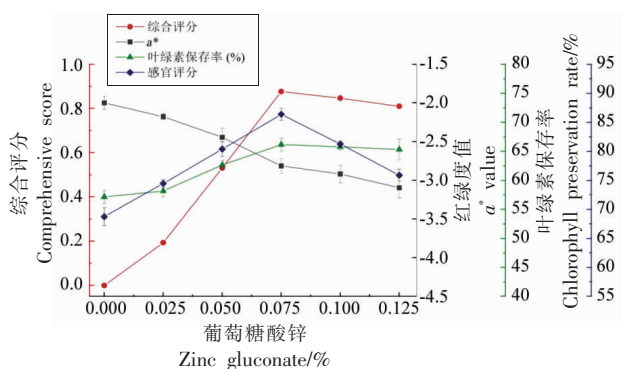


图3 葡萄糖酸锌对青辣椒酱品质指标的影响

Fig.3 Effect of zinc gluconate on quality index of green pepper sauce

如图 3 所示,随着葡萄糖酸锌的添加量逐渐增加,青辣椒酱的  $a^*$  值逐渐减小,叶绿素保存率逐渐增加,这是由于葡萄糖酸锌中的  $Zn^{2+}$  在加热和

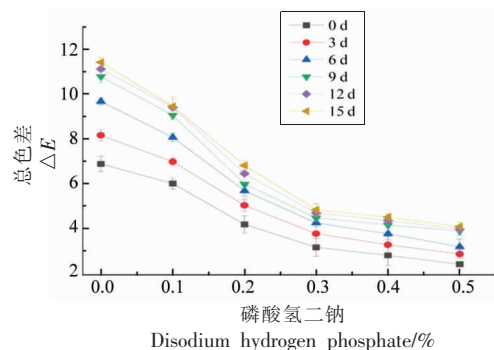
图2 磷酸氢二钠对青辣椒酱  $\Delta E$  值的影响

Fig.2 Effect of disodium hydrogen phosphate on  $\Delta E$  value of green pepper sauce

低。当添加量大于 0.3% 时,  $\Delta E$  较低并且降低趋势变得平缓,15 d 内褐变程度较小。综上所述,磷酸氢二钠添加量为 0.3%,相比于其它添加量的青辣椒酱,  $\Delta E$  较低且 15 d 内增长较小,  $a^*$  值较低, 叶绿素保存率较高,感官评价分值高,青椒酱酱体整体呈翠绿色,有光泽,此时综合评分最高,为 0.89。故而确定磷酸氢二钠最佳添加量为 0.3%。

## 2.2 葡萄糖酸锌对青辣椒酱品质的影响

葡萄糖酸锌对青辣椒酱品质指标的影响如图 3 所示,葡萄糖酸锌对青辣椒酱  $\Delta E$  值的影响如图 4 所示。

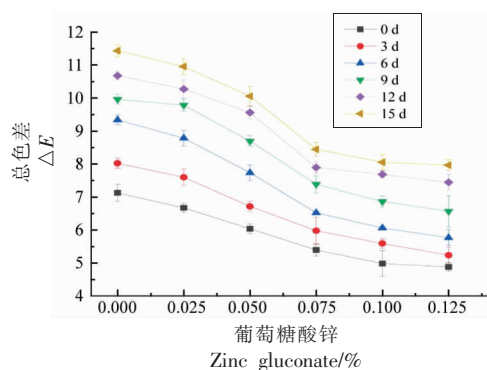
图4 葡萄糖酸锌对青辣椒酱  $\Delta E$  值的影响

Fig.4 Effect of zinc gluconate on  $\Delta E$  value of green pepper sauce

酸性条件下可置换叶绿素中的镁原子与其发生取代反应,生成新的化合物,并且也呈现绿色色泽<sup>[28]</sup>。但对于感官评分和产品综合评分而言,随着葡萄

糖酸锌添加量逐渐增加, 感官评分和产品综合评分均呈先增大后降低趋势。当葡萄糖酸锌的添加量为 0.075% 时, 产品色泽逐渐翠绿且具有光泽, 感官评分 (86.38) 和综合评分 (0.88) 达到最大值, 此时的  $a^*$  值为 -2.81, 叶绿素保存率为 66.16%; 随着添加量的继续增加, 青辣椒酱的  $a^*$  降低, 叶绿素保存率增大, 但两者变化速率缓慢, 此时青辣椒酱产品滋味与风味整体协调性较差, 感官评分降低, 综合评分降低。

如图 4 可知,  $\Delta E$  值随着葡萄糖酸锌添加量的增加, 呈缓慢降低趋势。当葡萄糖酸锌添加量大于 0.075% 时,  $\Delta E$  的减小趋势变缓, 15 d 内的增长

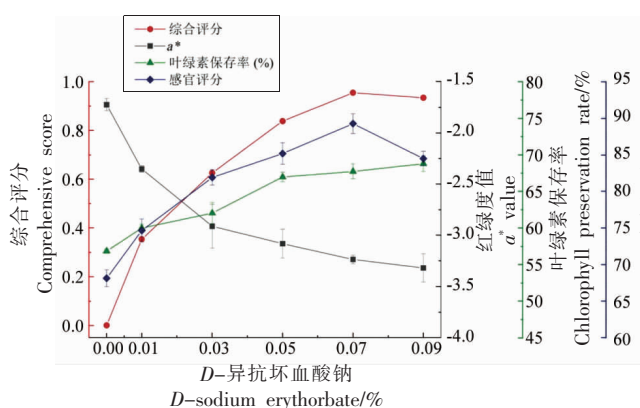


图 5  $D$ -异抗坏血酸钠对青辣椒酱品质指标的影响

Fig.5 Effect of  $D$ -sodium erythorbate on quality index of green pepper sauce

如图 5 所示, 随着  $D$ -异抗坏血酸钠添加量的逐渐增加, 青辣椒酱的  $a^*$  值逐渐降低, 叶绿素保存率逐渐增加, 这主要由于  $D$ -异抗坏血酸钠作为一种绿色抗氧化保鲜剂, 具有较强的抗氧化活性, 能防止色素被氧化, 从而达到护色效果<sup>[33]</sup>, 但对于感官评分和产品综合评分而言, 随着添加量逐渐增加, 感官评分和综合评分呈先增高后降低趋势。当  $D$ -异抗坏血酸钠含量为 0.07% 时,  $a^*$  值为 -3.24, 叶绿素保存率为 67.74%, 感官评分达到最高为 89.27, 产品整体品质达到最佳, 综合评分达到最高, 为 0.95。随着添加量的继续增加, 青辣椒酱的  $a^*$  值和叶绿素保存率的变化速率缓慢降低, 但感官评分降低, 从而使得产品综合评分下降<sup>[34]</sup>。

如图 6 所示,  $\Delta E$  整体随着  $D$ -异抗坏血酸钠

较小。综上所述, 葡萄糖酸锌添加量为 0.075% 时, 相比与其它添加量的青辣椒酱,  $\Delta E$  较低且 15 d 内增长较小, 褐变程度较低,  $a^*$  值较低, 叶绿素保存率较高, 感官评分最高, 青辣椒酱整体呈翠绿色, 酱体质地均匀, 风味协调, 此时综合评分最高, 为 0.88。故而确定葡萄糖酸锌最佳添加量为 0.075%。

### 2.3 $D$ -异抗坏血酸钠对青辣椒酱品质的影响

$D$ -异抗坏血酸钠对青辣椒酱品质指标的影响如图 5 所示,  $D$ -异抗坏血酸钠对青辣椒酱  $\Delta E$  值的影响如图 6 所示。

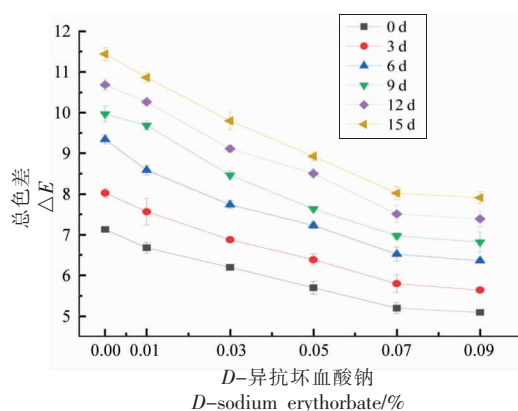


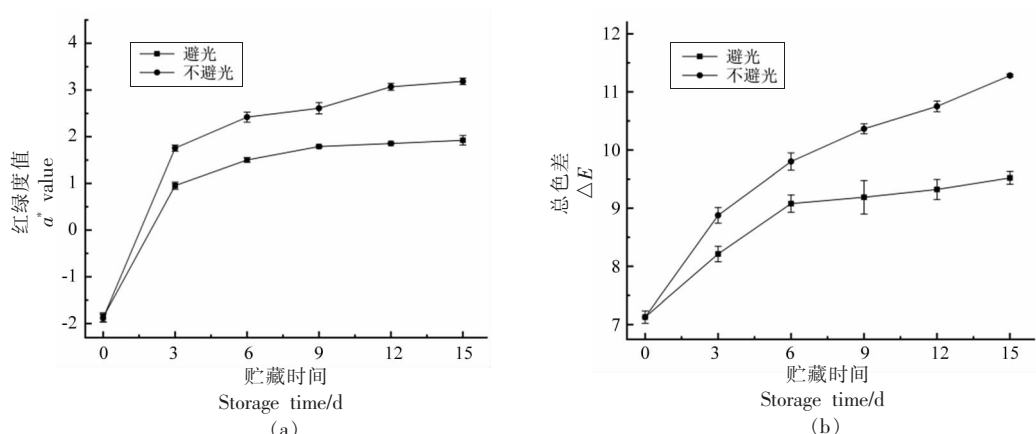
图 6  $D$ -异抗坏血酸钠对青辣椒酱  $\Delta E$  值的影响

Fig.6 Effect of  $D$ -sodium erythorbate on  $\Delta E$  value of green pepper sauce

添加量的增加而逐渐降低, 15 d 内的褐变速率逐渐降低。  $D$ -异抗坏血酸钠添加量为小于 0.07% 时,  $\Delta E$  整体随着添加量的增加而逐渐变小。当添加量大于 0.07% 时,  $\Delta E$  值的减小趋势平缓。综上所述, 当  $D$ -异抗坏血酸钠添加量为 0.07% 时, 相比与其它添加量的青辣椒酱,  $\Delta E$  较低 15 d 内增长较小, 褐变程度较低,  $a^*$  值较低, 叶绿素保存率较高, 青椒酱酱体整体呈翠绿色, 有光泽, 感官评价分值达到最高, 此时综合评分最高, 为 0.95。故而确定  $D$ -异抗坏血酸钠最佳添加量为 0.07%。

### 2.4 避光贮藏对青辣椒酱品质的影响

避光贮藏对青辣椒酱的  $a^*$  值的影响如图 2~图 7 所示, 避光贮藏对青辣椒酱  $\Delta E$  值的影响如图 2~图 8 所示。

图 7 避光贮藏对青椒酱的  $a^*$  值(a)、 $\Delta E$  值(b)的影响Fig.7 Effect of dark storage on  $a^*$  value (a) and  $\Delta E$  value (b) of green pepper sauce

叶绿素是一类光合作用中最重要色素,在光线照射下生成具有高能量的三线态叶绿素。三线态叶绿素是光氧化反应的重要诱发物,会使得绿色果蔬中的色泽损失,对果蔬制品绿色色泽的保持具有不利影响。刘晓庚<sup>[35]</sup>的试验研究认为,做好绿色果蔬运输、加工、销售、储存以及消费过程中避光、抑制反应和隔氧工作,就能从根本上抑制单线态氧的生成,防止叶绿素发生光敏氧化,最大程度保持产品绿色色泽。

如图 7 所示,通过研究避光包装贮藏对青椒酱品质的影响可知,在贮藏 15 d 内,避光处理与不避光处理的青椒酱  $a^*$  值呈逐渐上升趋势,且均在贮藏 3 d 后  $a^*$  值增大速率降低,而避光与不避光处理的青椒酱  $\Delta E$  值随着贮藏时间的增加也均呈逐渐上升趋势,但相对于不避光组,避光处理组的褐变速率缓慢,且在 6 d 后呈缓慢增加,因此青椒酱产品在贮藏过程中可选择避光包装贮藏,可更好的保证青椒酱的品质。

## 2.5 响应面设计结果分析

单因素实验结果表明,磷酸氢二钠(A)、葡萄糖酸锌(B)、D-异抗坏血酸钠(C)的最佳添加量分别是 0.3%、0.075%、0.07%。为进一步研究各单因素协同作用下青椒酱护色条件,设计 Box-Behnken 响应面优化试验,对青椒酱的护色技术进行优化,Box-Behnken 响应面设计见表 2,试验结果见表 3。

2.5.1 响应面设计结果与方差分析 通过 Design Expert8.0.6 软件对表 3 的试验结果进行二次回归

表 2 响应面设计因素水平及编码

Table 2 Box-Behnken factors and levels

编码	A	B	C
	磷酸氢二钠/ %	葡萄糖酸锌/ %	D-异抗坏血酸钠/ %
-1	0.20	0.050	0.05
0	0.30	0.075	0.07
1	0.40	0.100	0.09

分析,得到青辣椒酱的品质综合评分对磷酸氢二钠、葡萄糖酸锌、D-异抗坏血酸钠的二次多项回归方程为: $Y_{\text{综合评分}} = +0.85 + 0.080A + 0.030B - 0.048C + 0.063AB + 0.072AC - 0.012BC - 0.12A^2 - 0.020B^2 - 0.15C^2$ ,由表 4 可知,回归模型  $F$  值为 43.56,  $P < 0.0001$ ,说明模型具有极高的显著性。失拟项  $F$  值为 2.51,  $P = 0.1974$ ,说明失拟项不显著 ( $P > 0.05$ ),试验结果与二次回归模型拟合较好。由模型回归方程系数的显著性,表明 3 个因素对青辣椒酱的色泽综合评分的影响程度为:  $A > C > B$ ,交互项  $AB$  和  $AC$  对综合评分响应值影响极显著(两者  $P < 0.01$ ),而交互项  $BC$  的  $P > 0.05$ ,表明其对综合评分响应值影响不显著,二次项均为极显著。模型的相关系数及修正相关系数分别为  $R^2 = 0.9825$ 、 $R^2_{\text{adj}} = 0.9599$ ,表明模型的预测值接近实际试验结果,两者高度相关,反映了 95.99% 响应值的变化,即综合评分响应值 95.99% 的变化来自所选自变量,可知此试验模型与真实数据拟合程度良好,所以可利用该模型来确定青辣椒酱护色技术的最佳工艺条件。

表3 响应面试验设计与结果

Table 3 The design and results of response surface experiment

试验号	A (磷酸氢二钠/%)	B (葡萄糖酸锌/%)	C (D-异抗坏血酸钠/%)	综合评分	试验号	A (磷酸氢二钠/%)	B (葡萄糖酸锌/%)	C (D-异抗坏血酸钠/%)	综合评分
1	0.30	0.075	0.07	0.87	10	0.20	0.075	0.05	0.64
2	0.20	0.050	0.07	0.45	11	0.40	0.050	0.07	0.51
3	0.30	0.075	0.07	0.89	12	0.30	0.050	0.09	0.47
4	0.30	0.100	0.05	0.57	13	0.30	0.075	0.07	0.85
5	0.40	0.075	0.05	0.63	14	0.20	0.100	0.07	0.43
6	0.30	0.100	0.09	0.46	15	0.30	0.075	0.07	0.84
7	0.30	0.075	0.07	0.82	16	0.30	0.050	0.05	0.53
8	0.40	0.100	0.07	0.74	17	0.20	0.075	0.09	0.39
9	0.40	0.075	0.09	0.67					

表4 综合评分拟合回归方程的方差分析表

Table 4 Analysis of variance of sensory score fitting regression equation

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	0.47	9	0.052	43.56	< 0.0001	**
A(磷酸氢二钠)	0.051	1	0.051	42.57	0.0003	**
B(葡萄糖酸锌)	7.200×10 <sup>-3</sup>	1	7.200×10 <sup>-3</sup>	5.99	0.0443	*
C D-(异抗坏血酸钠)	0.018	1	0.018	15.01	0.0061	**
AB	0.016	1	0.016	12.99	0.0087	**
AC	0.021	1	0.021	17.48	0.0041	**
BC	6.250×10 <sup>-4</sup>	1	6.250×10 <sup>-3</sup>	0.52	0.4944	
A <sup>2</sup>	0.064	1	0.064	53.17	0.0002	**
B <sup>2</sup>	0.17	1	0.17	137.58	< 0.0001	**
C <sup>2</sup>	0.093	1	0.093	76.93	< 0.0001	**
残差	8.420×10 <sup>-3</sup>	7	1.203×10 <sup>-3</sup>			
失拟项	5.500×10 <sup>-3</sup>	3	1.833×10 <sup>-3</sup>	2.51	0.1974	
误差项	2.920×10 <sup>-3</sup>	4	7.200×10 <sup>-3</sup>			
总变异	0.48	16				
R <sup>2</sup>	0.9825					
R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	0.9599					

注:表中\*表示差异显著 $P<0.05$ ;\*\*表示差异极显著 $P<0.01$ 。

2.5.2 综合评分响应曲面分析 图8~图10分别给出了磷酸氢二钠、葡萄糖酸锌、D-异抗坏血酸钠对青辣椒酱综合评分的3D曲面图和等高线图。

从图8~图10能够直观的看出各因素间交互作用对综合评分的影响。通过观察3D曲面的倾斜度大小可以确定两因素间交互作用对综合评分响应值的影响程度,即响应曲面坡度越陡,说明二者交互作用越显著。图8、图9的响应曲面坡度陡峭,等高线中心呈近似椭圆形,表明磷酸氢二钠和葡萄糖酸锌、磷酸氢二钠和D-异抗坏血酸钠交互

作用强,对综合评分的影响大。图10响应曲面较平缓,等高线图中心呈圆形或近似圆形,说明葡萄糖酸锌和D-异抗坏血酸钠的交互作用不显著,对综合评分影响小。以上结果分析与表3方差分析的结论一致。

### 2.5.3 青辣椒酱护色技术最佳工艺确定及验证

基于在单因素实验基础上,根据Design-Expert 8.0.6软件的优化结果,得到了青辣椒酱护色技术最佳工艺为磷酸氢二钠加量为0.324%、葡萄糖酸锌用量为0.088%、D-异抗坏血酸钠用量为

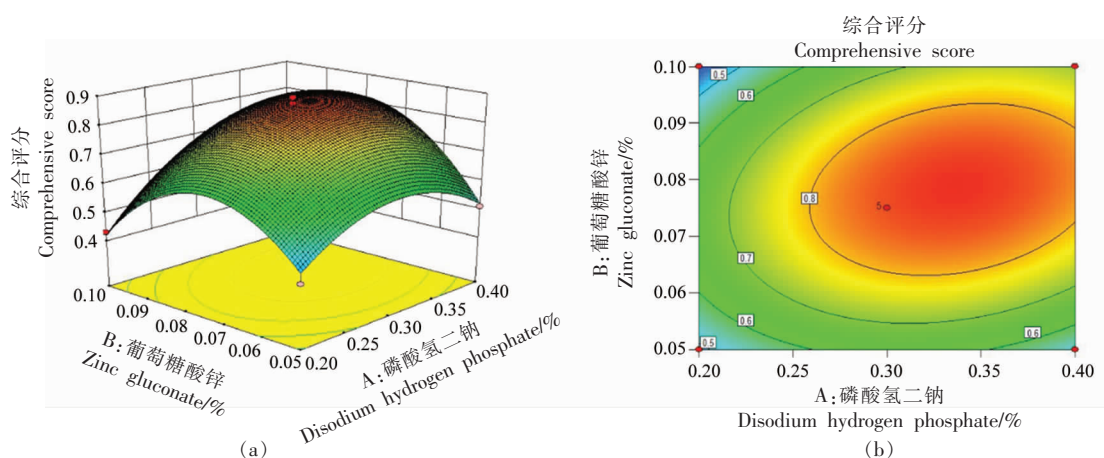


图 8 磷酸氢二钠和葡萄糖酸锌的交互作用对综合评分的影响

Fig.8 The effect of the interaction between the disodium hydrogen phosphate and the zinc gluconate on the comprehensive score

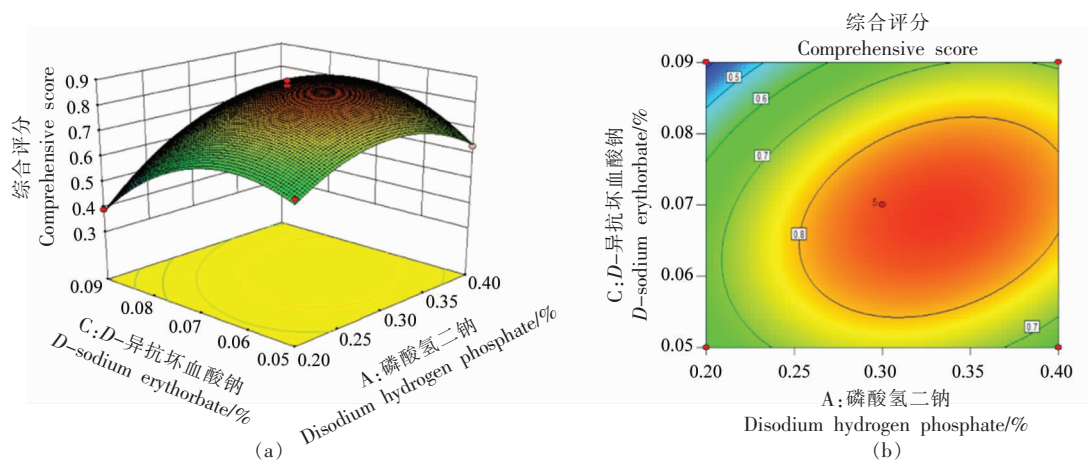


图 9 磷酸氢二钠和 D-异抗坏血酸钠的交互作用对综合评分的影响

Fig.9 The effect of the interaction between the disodium hydrogen phosphate and the D-sodium erythorbate on the comprehensive score

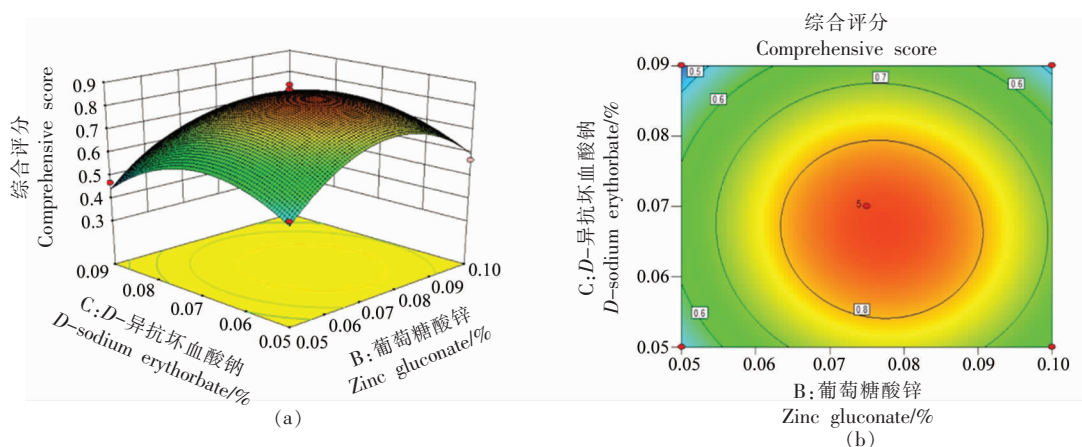


图 10 葡萄糖酸锌和 D-异抗坏血酸钠的交互作用对综合评分的影响

Fig.10 The effect of the interaction between the D-sodium erythorbate and the zinc gluconate on the comprehensive score



0.071%,在此工艺条件下模型预测的综合评分为0.918。结合工厂实际生产情况,对最佳工艺参数进行调整,调整为磷酸氢二钠添加量为0.30%、葡萄糖酸锌添加量为0.09%、D-异抗坏血酸钠添加量为0.07%,并在此工艺条件下进行3次验证试验,结果得到综合评分平均值为0.906,与模型预测值相近。通过护色后的青辣椒酱色泽翠绿有光泽,整体优于前期的熬制技术,且两者明显优于传统工艺。

### 3 结论

磷酸氢二钠(A)、葡萄糖酸锌(B)、D-异抗坏血酸钠(C)3种护色剂对青辣椒酱色泽的综合评分影响程度的大小顺序为:A>C>B。青辣椒酱品质综合评分对3种护色剂的二次多项回归方程为:综合评分= $+0.85+0.080A+0.030B-0.048C+0.063AB+0.072AC-0.012BC-0.12A^2-0.020B^2-0.15C^2$ ,该模型的相关系数及修正相关系数分别为 $R^2=0.9825$ 、 $R^2_{adj}=0.9599$ ,说明试验数据和该模型的试验相关性较好,可用来确定青辣椒酱护色技术最佳护色配方。结合工厂实际生产情况,确定青辣椒酱护色技术最佳工艺条件为:磷酸氢二钠、葡萄糖酸锌、D-异抗坏血酸钠的添加量分别为0.30%、0.09%、0.07%,在此工艺条件下,产品 $a^*$ 值为-4.33、叶绿素保存率为72.62%、感官评分为94.35,综合评分为0.91,青辣椒酱色泽褐变问题得到有效解决,同时产品品质优良,风味独特。

### 参 考 文 献

[1] 张绍刚,张太平,龙明树,等. 贵州辣椒产业及优势区域布局[J]. 中国蔬菜, 2008, 118(11): 5-7.  
ZHANG S G, ZHANG T P, LONG M S, et al. Guizhou pepper industry and advantageous regional layout[J]. Chinese Vegetables, 2008, 118(11): 5-7.

[2] 张小明. 贵州省辣椒产业化发展问题及对策探讨[J]. 贵州农机化, 2022, 40(4): 24-26.  
ZHANG X M. Discussion on the development issues and countermeasures of pepper industrialization in Guizhou province[J]. Guizhou Agricultural Mechanization, 2022, 40(4): 24-26.

[3] 谭文,杨世琼,左晋,等. 基于相对气候适宜度指

数的贵州辣椒产量动态预报模型构建[J]. 贵州农业科学, 2023, 51(1): 74-79.

TAN W, YANG S Q, ZUO J, et al. Construction of a dynamic prediction model for pepper yield in Guizhou based on relative climate suitability index [J]. Guizhou Agricultural Science, 2023, 51(1): 74-79.

[4] 杜涛. 高新技术支撑贵州辣椒制品高质量发展[N]. 中国食品报, 2022-08-24.

DU T. High tech supports the high-quality development of Guizhou chili products[N]. China Food News, 2022-08-24.

[5] 杨胜伟,杨秀伟,余常水,等. 辣椒产业专利分析和路线预测[J]. 中国蔬菜, 2021, 131(5): 1-10.

YANG S W, YANG X W, YU C S, et al. Patent analysis and technology route prediction of chili industry[J]. Chinese Vegetables, 2021, 131(5): 1-10.

[6] 金晶,张小明,付浩. 贵州省辣椒产业发展现状及建议[J]. 北方园艺, 2021, 45(21): 152-156.

JIN J, ZHANG X M, FU H. Current situation and suggestions for the development of pepper industry in Guizhou province[J]. North Horticulture, 2021, 45(21): 152-156.

[7] 朱霞,何建军,关键,等. 不同杀菌剂对青辣椒、番茄贮藏品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(8): 2071-2074.

ZHU X, HE J J, GUAN J, et al. The effect of different fungicides on the storage quality of green pepper and tomato[J]. Hubei Agricultural Science, 2016, 55(8): 2071-2074.

[8] ZCAN M M, USLU N, EFE N S, et al. Effect of thermal processing on the bioactive compounds and color parameters of types of three sweet pepper[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(7): 15661-15667.

[9] 李阳,邓伶俐,徐晓卉,等. 月桂酰精氨酸乙酯盐酸盐复配保鲜剂对青椒保鲜效果的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(11): 201-206.

LI Y, DENG L L, XU X H, et al. Effect of compound preservative of lauroyl arginine ethyl ester hydrochloride on the fresh-keeping effect of green pepper [J]. Food Science, 2020, 41(11): 201-206.

[10] PEREG T P, REMENTERIA D S, ESTRADA O, et al. Physicochemical and sensory evaluation data to drive the development of a green chili pepper hot

- sauce from unexploited raw materials[J]. *Foods*, 2023, 12(19): 3536–3549.
- [11] 牟玉梅, 毛妃凤, 张绍刚. 贵州省辣椒产业现状与发展建议[J]. *中国蔬菜*, 2020, 130(2): 10–12.  
MOU Y M, MAO F F, ZHANG S G. Current situation and development suggestions of pepper industry in Guizhou province[J]. *Chinese Vegetables*, 2020, 130(2): 10–12.
- [12] 李俊, 王辉, 田宝明, 等. 青辣椒油炸及贮藏过程中护色技术的研究[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(20): 275–279.  
LI J, WANG H, TIAN B M, et al. Research on color protection techniques during frying and storage of green chili peppers[J]. *Food Industry Technology*, 2013, 34(20): 275–279.
- [13] DI GIOIA FRANCESCO, NIKOLAOS T, YOUSSEF R, et al. Grown to be blue—antioxidant properties and health effects of colored vegetables. Part II: Leafy, fruit, and other vegetables. [J]. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 2020, 9(2): 97–138.
- [14] 张丽华. 猕猴桃果实制浆中叶绿素降解机理及其护绿方法研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.  
ZHANG L H. Study on the mechanism of chlorophyll degradation and its greening protection methods in Kiwifruit pulping[D]. Yangling: Northwest A&F University of Science and Technology, 2012.
- [15] 杨姗, 王卫, 赵楠, 等. 发酵蔬菜色泽形成机制及影响因素研究进展[J]. *食品科学*, 2022, 43(23): 269–276.  
YANG S, WANG W, ZHAO N, et al. Research progress on the mechanism and influencing factors of color formation in fermented vegetables[J]. *Food Science*, 2022, 43(23): 269–276.
- [16] 朱效兵, 徐瑞年, 夏美茹, 等. 不同护色剂对肉苕蓉罐头护色效果的影响[J]. *农产品加工*, 2021, 20(14): 25–27.  
ZHU X B, XU R N, XIA M R, et al. The effect of different color protectants on the color protection of canned *Cistanche deserticola*[J]. *Agricultural Product Processing*, 2021, 20(14): 25–27.
- [17] 何晓勇, 孔欣欣, 贾庆超. 响应曲面法优化花生芽菜护色剂配方[J]. *中国食品添加剂*, 2022, 33(2): 88–93.  
HE X Y, KONG X X, JIA Q C. Optimization of peanut sprout color protectant formula using response surface methodology[J]. *China Food Additives*, 2022, 33(2): 88–93.
- [18] LI D T, CHEN R C, LIU J Y, et al. Characterizing and alleviating the browning of *Choerospondias axillaris* fruit cake during drying[J]. *Food Control*, 2022, 132(9): 108522–1085229.
- [19] LI G P, ZHOU D, KAN L N, et al. Competitive inhibition of phytic acid on enzymatic browning of chestnut[J]. *Acta Alimentaria*, 2017, 46(1): 100–108.
- [20] YANG X, ZHANG Z, JOYCE D, et al. Characterization of chlorophyll degradation in banana and plantain during ripening at high temperature[J]. *Food Chemistry*, 2008, 114(2): 383–390.
- [21] 张培洪, 于涛. 添加复合磷酸盐对花蛤贮藏期间色泽和质构特性的影响[J]. *浙江农业科学*, 2013, 54(7): 846–848.  
ZHANG P H, YU T. The effect of adding composite phosphates on the color and texture characteristics of clams during storage[J]. *Zhejiang Agricultural Science*, 2013, 54(7): 846–848.
- [22] 王修俊, 刘颖, 邱树毅, 等. 复合磷酸盐食品添加剂对鲜切青苹果保鲜效果的研究[J]. *食品工业科技*, 2008, 30(8): 258–260.  
WANG X J, LIU Y, QIU S Y, et al. A study on the preservation effect of composite phosphate food additives on fresh cut green apples[J]. *Food Industry Technology*, 2008, 30(8): 258–260.
- [23] 王丽芳, 王修俊, 郑君花, 等. 复合磷酸盐食品添加剂对鲜切梨保鲜效果的研究[J]. *中国食品添加剂*, 2013, 24(4): 184–187.  
WANG L F, WANG X J, ZHENG J H, et al. A Study on the preservation effect of compound phosphate food additives on freshly cut pears[J]. *China Food Additives*, 2013, 24(4): 184–187.
- [24] LI G P, ZHOU D, KAN L N, et al. Competitive inhibition of phytic acid on enzymatic browning of chestnut (*Castanea mollissima blume*)[J]. *Acta Alimentaria An International Journal of Food Science*, 2017, 46(1): 100–108.
- [25] YIN Y G, HAN Y, LIU J B. A novel protecting method for visual green color in spinach puree treated by high intensity pulsed electric fields [J]. *Journal of Food Engineering*, 2007, 79(4): 1256–1260.
- [26] 袁乙平, 何雨婕, 肖含磊, 等. 青花椒酱的开发及其货架期预测[J]. *食品科学技术学报*, 2021, 39(1): 162–170.  
YUAN Y P, HE Y J, XIAO H L, et al. Develop-

- ment and shelf life prediction of green and white pepper sauce[J]. *Journal of Food Science Technology*, 2021, 39(1): 162–170.
- [27] 赵迪, 温青玉, 张康逸, 等. 复配型护色剂对菠菜生鲜面贮藏品质的调控[J]. *现代食品科技*, 2021, 37(4): 139–148.  
ZHAO D, WEN Q Y, ZHANG K Y, et al. The regulation of the storage quality of spinach fresh noodles by compound color fixatives[J]. *Modern Food Technology*, 2021, 37(4): 139–148.
- [28] 高伟民. 青辣椒在加工及储存过程中护色技术的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012.  
GAO W M. Research on the color protection technology of green pepper during processing and storage[D]. Chongqing: Southwest University, 2012.
- [29] PELED A, DROR Y, BAAL-ZEDAKA I, et al. Photobleaching and photodeposition in a chlorophyll based solution[J]. *Synthetic Metals*, 2000, 115(1): 167–171.
- [30] 司昕蕾, 边甜甜, 牛江涛, 等. 花椒贮藏研究进展[J]. *中兽医医药杂志*, 2017, 36(6): 29–32.  
SI X L, BIAN T T, NIU J T, et al. Research progress on storage of *Zanthoxylum bungeanum* [J]. *Journal of Chinese Veterinary Medicine*, 2017, 36(6): 29–32.
- [31] 王芳丽, 鲍向东, 李广华. 贵州农业园区蔬菜种植配置农机的几点建议[J]. *农业机械*, 2017, 60(7): 83–84.
- WANG F L, BAO X D, LI G H. Suggestions for configuring agricultural machinery for vegetable planting in Guizhou Agricultural Park[J]. *Agricultural Machinery*, 2017, 60(7): 83–84.
- [32] 李宝升, 王修俊, 邱树毅, 等. 磷酸盐及其在食品中的应用[J]. *中国调味品*, 2009, 34(7): 38–41.  
LI B S, WANG X J, QIU S Y, et al. Phosphates and their applications in food[J]. *Chinese Seasoning*, 2009, 34(7): 38–41.
- [33] 尚校兰, 陈占兄, 单新童, 等. *D*-异抗坏血酸钠抑制腊肠脂肪和蛋白质氧化[J]. *食品研究与开发*, 2020, 41(6): 38–42.  
SHANG X L, CHEN Z X, SHAN X T, et al. Sodium *D*-isoascorbate inhibits the oxidation of fat and protein in sausages[J]. *Food Research and Development*, 2020, 41(6): 38–42.
- [34] 姚兴海, 雷娟. 即食沙葱软罐头护色工艺研究[J]. *中国食品工业*, 2021, 38(22): 96–99.  
YAO X H, LEI J. Study on the color protection technology of instant scallion soft canned food [J]. *China Food Industry*, 2021, 38(22): 96–99.
- [35] 刘晓庚. 光氧化及其对食品安全的影响[J]. *食品科学*, 2006, 27(11): 579–583.  
LIU X G. Photooxidation and its impact on food safety[J]. *Food Science*, 2006, 27(11): 579–583.

### The Quality Changes and Color Protection Model Construction of Green Pepper Sauce during Boiling

Hu Rongnian<sup>1,2</sup>, Wang Xiujun<sup>1,2,3\*</sup>, Chen Yanhong<sup>1,2</sup>, Zhang Lu<sup>1,2</sup>, Xu Jiuhong<sup>1,2</sup>, Li Jiamin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*School of Liquor and Food Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025*

<sup>2</sup>*Guizhou Provincial Key Laboratory of Fermentation Engineering and Biopharmacy, Guiyang 550025*

<sup>3</sup>*Industrial Technology Institute of Pepper, Guizhou University, Guiyang 550025*

**Abstract** In order to study the quality changes during the boiling process of green chilli sauce and to construct a relevant colour protection model, three colour protection agents, namely disodium hydrogen phosphate (A), zinc gluconate (B) and sodium *D*-isoascorbate (C), were selected for the colour protection test, taking chlorophyll preservation rate,  $a^*$  value, colour difference value ( $\Delta E$ ) within 15 d and sensory score as the indicators of consideration, with the resulting composite score as the evaluation index. The results of the one-way experiment showed that the optimum additions of the three colour protectors were A (0.3%), B (0.075%) and C (0.07%). Response surface method was used to investigate the effect of three colour protectant formulations on the colour of green chilli paste using the composite score as the response value. The results showed that the effects of the three colour protectors on the colour and lustre of green chilli paste were different and ranked as A>C>B. The quadratic polynomial regression equation model of the factors affecting

the colour of green chilli sauce was constructed as follows:  $Y_{\text{Composite Score}} = +0.85 + 0.080A + 0.030B - 0.048C + 0.063AB + 0.072AC - 0.012BC - 0.12A^2 - 0.020B^2 - 0.15C^2$ , with a coefficient of determination of  $R^2$  of 0.9825, indicating that the experimental data and the model test correlation is good and can be used to determine the optimum colour protection formulation for green chilli paste, i.e. 0.30% addition of disodium hydrogen phosphate, 0.09% addition of zinc gluconate and 0.07% addition of sodium *D*-isoascorbate. The green chilli paste made with this formulation was bright green and glossy in colour, with an  $a^*$  value of -4.33, an organoleptic score of 94.35 and a composite score of 0.91. The chlorophyll preservation rate of the green chilli paste was 72.62%, which was 30.19% higher than that of the unprotected treatment (only 55.78%), and the effect of colour preservation was significantly better than that of the traditional process. The colour protection model constructed in this study can accurately reflect the effect of selected colour protectors on the colour quality of green chilli sauce, determine the optimal colour protection process, and solve the problem of chlorophyll browning in green chilli sauce.

**Keywords** green pepper sauce; chlorophyll browning; color fixative; red-green value ( $a^*$ ); color difference value ( $\Delta E$ )