

# 响应面优化牛肉果蔬汁复合改质剂工艺

黄彩燕<sup>1,2</sup>, 张松山<sup>1</sup>, 雷元华<sup>1</sup>, 董超<sup>1,2</sup>, 谢鹏<sup>1</sup>, 王欢<sup>1</sup>, 韩玲<sup>2</sup>, 余群力<sup>2</sup>, 唐洪涛<sup>3</sup>, 孙宝忠<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193)

(2. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃兰州 730070)(3. 国家儿童营养品质量监督检验中心, 北京 100036)

**摘要:** 利用果蔬汁改善牛肉嫩度、延长保质期。本试验选取 20 左右月龄 6 头锦江黄牛, 宰后取背最长肌为试验原料, 分别选择番茄汁添加量为 4%、8%、12%、16%和 20%, 生姜添汁加量为 2%、4%、6%、8%和 10%, 猕猴桃汁添加量为 3%、6%、9%、12%和 15%, 木瓜汁添加量为 5%、10%、15%、20%和 25%, 进行单因素试验, 以牛肉贮藏过程中 pH、TVB-N (番茄和生姜汁处理组)、嫩度 (猕猴桃和木瓜汁处理组) 以及感官评分 (贮藏 3 d 时进行感官评价) 为评价指标确定试验条件, 在单因素试验的基础上进行响应面优化试验。通过 Box-Behnken 响应面优化试验得出果蔬复合改质剂的最佳配比为 11.10%番茄、6.53%生姜、6.70%猕猴桃和 10.15%木瓜汁, 得到牛肉的感官评分为 95.10。番茄、生姜、猕猴桃以及木瓜汁的添加量都显著影响牛肉的感官评分, 经过响应面优化的果蔬汁复合改质剂效果较好, 可作为一种天然食品添加剂改善牛肉品质, 延长货架期。

**关键词:** 牛肉; 果蔬汁; 改质剂; 感官评价; 响应面优化法

文章编号: 1673-9078(2018)05-189-197

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2018.05.027

## Optimization of Composite Modifier Process for Fruit and Vegetable Juice of Beef by Response Surface Methodology

HUANG Cai-yan<sup>1,2</sup>, ZHANG Song-shan<sup>1</sup>, LEI Yuan-hua<sup>1</sup>, DONG Chao<sup>1,2</sup>, XIE Peng<sup>1</sup>, WANG Huan<sup>1</sup>, HAN Ling<sup>2</sup>, YU Qun-li<sup>2</sup>, TANG Hong-tao<sup>3</sup>, SUN Bao-zhong<sup>1</sup>

(1. Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)(2. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)(3. National Center for Child Nutrient Quality Supervision and Testing, Beijing 100036, China)

**Abstract:** Fruit and vegetable juice were used to improve the tenderness and prolong the shelf life of beef. Six twenty-month old Jin Jiang yellow cattles were selected, and their longissimus were taken as experimental materials after slaughter. The single factor experiment was carried out with the added tomato juice at 4%, 8%, 12%, 16% and 20%, respectively, ginger juice at 2%, 4%, 6%, 8% and 10%, respectively, kiwi fruit juice at 3%, 6%, 9%, 12% and 15%, respectively, papain juice at 5%, 10%, 15%, 20% and 25%, respectively. Based on the single factor experiment, the pH, TVB-N (tomato and ginger processing group), tenderness (kiwifruit and papaya processing group) and sensory scores (storage at 3 d) were used as indicators to get the optimal conditions by response surface methodology. According to the Box-Behnken response surface optimization test, the optimum ratio of the composite vegetable and fruit modifying agent was 11.10% tomato, 6.53% ginger, 6.70% kiwifruit and 10.15% papaya juice, and the sensory score of beef was 95.10. The addition of tomato, ginger, kiwi and papaya significantly affected the sensory score of beef. Fruit and vegetable juice composite modifier optimized by response surface methodology was effective. It could be used as a kind of natural food additive to improve beef quality and prolong the shelf life.

**Key words:** beef; fruit and vegetable juice; modifying agent; sensory evaluation; response surface methodology

牛肉作为世界上最受欢迎的肉类之一, 具有低脂肪、高蛋白质的特点, 以及含有矿物质、脂肪酸和维

收稿日期: 2017-12-11

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程“中式食品工程技术”协同创新任务 (CAAS-XTCX2016005); 国家现代农业 (肉牛牦牛) 产业技术体系建设专项 (CARS-38)

作者简介: 黄彩燕 (1992-), 女, 在读研究生

通讯作者: 孙宝忠 (1964-), 男, 博士, 研究员

生素等关键营养素<sup>[1,2]</sup>。是人类代谢过程中高质量膳食蛋白质的主要来源, 由于其含有丰富营养物质, 为微生物生长繁殖提供有利的环境, 极易腐败变质<sup>[3]</sup>。肉品品质对消费者来说一直都非常重要, 是 21 世纪肉类工业的特别关注的问题。随着人们生活水平的不断提高, 大多数国家对高品质肉类的消费需求逐年增加, 肉类行业应不断地为消费者提供美味、安全、健康的优质肉类, 以确保高品质肉品的持续消费<sup>[4]</sup>。因此,

通过添加天然食品添加剂改善肉品品质,以保持其安全性和质量,延长货架期,一直以来是肉类行业的热点问题。刘晓蓉<sup>[5]</sup>研究发现大蒜、生姜和桔皮的提取液复配对食品中常见腐败菌具有抑制作用,Yilmaz等<sup>[6]</sup>研究了番茄汁对低脂烤肠品质的影响,结果表明:添加番茄汁能降低低脂烤肠的pH值和菌落总数,具有抑菌作用。Deda等<sup>[7]</sup>人发现添加12%的番茄酱对法兰克福香肠色泽接受性最好,同时还降低了产品的pH值及亚硝酸盐残留量。宫春波<sup>[8]</sup>等研究了姜汁抑菌效果及其在鲜肉中的保鲜,发现鲜姜汁对金黄色葡萄球菌、伤寒沙门氏菌、大肠杆菌具有较强的抑制作用。任丽丽等<sup>[9]</sup>研究发现25%的生姜汁对鲜肉具有较好的保鲜效果。Han<sup>[10]</sup>研究了羔羊胴体僵直前采用10%新鲜猕猴桃汁浸泡,结果表明:猕猴桃汁的浸泡加速了肌原纤维蛋白降解,能够改善羔羊肉的嫩度。Toohey等研究发现注射猕猴桃汁能增加牛肉半膜肌中胶原蛋白的溶解和降低剪切力值,改变肌动蛋白和肌球蛋白微丝结构,增加了牛肉中蛋白质的溶解性,提高牛肉的嫩度<sup>[11]</sup>。明建<sup>[12]</sup>、Ha等<sup>[13]</sup>研究发现木瓜蛋白酶对牛肉具有较好的嫩化效果,Abdel<sup>[14]</sup>研究发现在骆驼汉堡肉饼添加0.05%木瓜蛋白酶和5%生姜汁出现结缔组织的降解,增加了胶原蛋白的溶解和感官评分(嫩度、多汁性、总体可接受性),剪切力值降低。国内外已有的研究中,大多是将植物的提取物作为嫩化剂或保鲜剂来改善肉及肉制品品质,而果蔬汁作为天然添加剂的研究较少,不同果蔬汁复合改善肉品品质的相关研究尚未报道。本研究选取江西高安锦江黄牛背最长肌作为试验材料,通过单因素试验考察不同添加量的番茄、生姜、猕猴桃和木瓜汁对牛肉嫩度、肉色和保鲜效果,在此基础上利用响应面分析法对果蔬复合改质剂添加量进行优化,筛选果蔬汁复合改质剂的最佳配比。为肉类行业生产高品质肉类提供参考依据,为消费者提供美味、安全、健康的优质牛肉。

## 1 材料与方 法

本试验于2017年3月至2017年5月在江西农业大学动物科技学院动物营养重点实验室进行,验证试验于2017年5月至6月在中国农业科学院北京畜牧兽医研究畜产品质量安全研究室进行。

### 1.1 材料与试剂

牛肉,购买于高安市裕丰农牧有限公司;选择发育正常、健康无病20月龄左右锦江黄牛6头,宰前禁食24h,禁水12h,按照伊斯兰屠宰方式屠宰,宰后胴体修整后取左右两侧背最长肌作为试验材料。番茄、

生姜、猕猴桃和木瓜购买于江西农业大学学校附近的农贸市场。

Petrifilm 菌落总数测试片,美国3M公司;氧化镁、硼酸、盐酸、甲基红指示剂、溴甲酚绿指示剂、95%乙醇等均为分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

### 1.2 主要仪器与设备

BS200S-WEI型分析天平,北京赛多利斯天平有限公司;JYZ-V919智能原汁机,山东九阳股份有限公司;TGL-16MB型高速冷冻离心机,长沙湘仪有限公司;HH-4型数显恒温水浴锅,江苏金坛市荣华仪器制造有限公司;KDN-08C型凯氏定氮仪,上海昕瑞仪表有限公司;TA.XT Plus质构仪,英国SMS公司。

### 1.3 单因素试验处理方式

选取无病虫害、八九成熟的新鲜番茄、生姜(南昌本地特产生姜)、猕猴桃和木瓜去皮,榨汁机中榨汁,高速冷冻离心机离心(1600 r/min, 5 min, 4℃),取上清液置于4℃冰箱备用。取12块左右侧背最长肌随机分成4组,修整为约4 cm×5 cm×5 cm条块,每一组单因素试验每个添加量为3块,置于塑料托盘。将牛肉浸泡于不同添加量番茄(4%、8%、12%、16%、20%)、生姜(2%、4%、6%、8%、10%)、猕猴桃(3%、6%、9%、12%、15%)和木瓜汁(5%、10%、15%、20%、25%)(果蔬汁添加量在预试验基础上确定,占肉重的百分比),处理时间60 min,然后用保鲜膜包裹贮藏于4℃冰箱。测定牛肉贮藏期间剪切力(猕猴桃和木瓜处理组)和TVB-N(番茄和生姜处理组)含量的变化,在贮藏第3 d时对所有处理组进行感官指标测定。

### 1.4 测定方法

#### 1.4.1 单因素试验感官指标测定

感官评价方法参照许立兴<sup>[15]</sup>,略作修改。感官评定小组由9名专业人员组成,对贮藏3 d的单因素试验组牛肉感官品质进行评价,感官评定标准如表1所示。

#### 1.4.2 TVB-N

按照GB 5009.228-2016《食品安全国家标准食品中挥发性盐基氮的测定》半微量定氮法测定。从样品中称取10.000 g牛肉,准确加入100.00 mL水,不时振荡,浸渍30 min后过滤,取10 mL滤液进行TVB-N的测定。

#### 1.4.3 剪切力

参照张玉卿<sup>[16]</sup>方法。取背最长肌肉样，切取 5 cm×5 cm×3 cm 的肉块，用蒸煮袋包裹密封后在 80 °C 水浴中熟制，至中心温度达到 70 °C 后取出肉块，自然冷却至室温 (20 °C)，每个温度每个时间点取 6 个样品，每个样品沿肌纤维方向用直径 1.27 cm 取样器平行取 3 个肉柱，用质构仪测定其剪切力，结果取其平均值。

### 1.4.4 响应面试验感官指标测定

感官评价方法参照 Lang<sup>[17]</sup>，略作修改。感官评定小组由 9 名专业人员组成。感官评价指标包括色泽

(9=光泽较好、呈鲜红色，1=光泽较差、暗褐色)，嫩度 (9=极嫩，1=极韧)，风味 (9=呈牛肉固有的香气、滋味以及略有果蔬的鲜味，1=牛肉固有气味变淡或消失，有异味)，多汁性 (9=多汁，1=无汁液)，总体可接受性 (9=接受性非常高，1=不可接受)。

### 1.4.5 响应面实验优化

在单因素试验基础上，根据 Box-Behnken 试验设计原理，选取番茄添加量、生姜添加量、猕猴桃添加量和木瓜汁添加量(V/M)4 个因素，利用 Design-Expert V 8.0.6.1 软件设计四因素三水平的响应面试验。

表 1 牛肉感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation of beef

评分	感官指标		
	颜色	气味	弹性
10	色泽鲜红，颜色均匀，有光泽	具有牛肉特有气味，无异味	弹性好，指压后凹陷立即恢复
8	色泽较鲜红，颜色均匀，有光泽	具有牛肉气味，无异味	弹性较好，指压后凹陷可恢复
6	色泽暗红，切面尚有光泽，新切面湿润	香味差或无鲜味	弹性一般，指压后凹陷恢复慢
4	色泽较暗红，切面无光泽	有异味，比较明显	无弹性，指压后凹陷不能恢复
2	色泽暗褐色，切面呈深灰色	有异味，不可接受	弹性丧失，指压后凹陷明显

评分	感官指标	
	黏度	总体可接受性
10	没有出水，表面不发黏	接受性非常高
8	稍有出水，表面不发黏	接受性高
6	出水比较多，表面不发黏	可接受
4	出水比较多，表面发黏	较能接受
2	出水比较多，表面发黏	不可接受

## 1.5 数据处理

采用 Microsoft Office Excel 2007 及 SPSS 20.0 对数据进行统计分析，采用邓肯氏总重比较法 (Duncan's multiple-rang test) 进行差异显著性分析，显著水平为 0.05。结果采用均值±标准差的形式。

## 2 结果与分析

### 2.1 番茄汁添加量的确定

由图 1 可知，贮藏过程中牛肉中 TVB-N 的含量随着番茄汁添加量的增加而降低，不同番茄汁添加量之间差异显著 ( $p<0.05$ )，其中番茄汁添加量为 20% 对牛肉保鲜效果最好。

与对照组相比，抑菌效果提高了 31%。这可能是由于番茄本身 pH、维生素 C 含量较高，具有较强的抑菌和抗氧化作用，添加番茄汁降低牛肉的 pH 值，抑制了腐败菌的生长，其次是番茄红素具有较强的抗氧化性，抑制了脂肪氧化，提高了贮藏期间的稳定性

[6,18]，因此，不同番茄添加量处理组间差异显著 ( $p<0.05$ )。

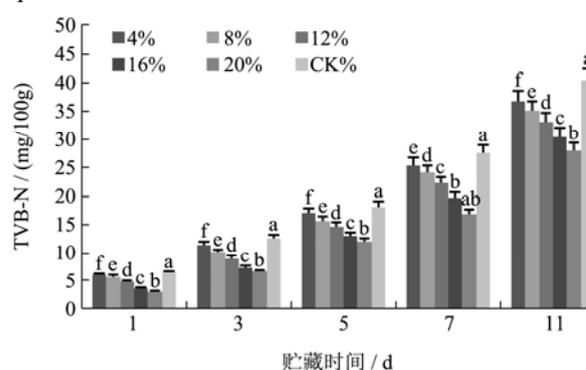


图 1 番茄汁添加量对牛肉 TVB-N 含量的影响

Fig.1 Effects of the addition of tomato juice on the TVB-N content of beef

注：图中同行、同列小写字母相同表示两者差异不显著 ( $p>0.05$ )，不同表示差异显著 ( $p<0.05$ )。下同。

由图 2 可知，除了肉色感官评分随着番茄添加量的增加而增加，其余感官指标评分均逐渐降低，牛肉表面出水较多，黏度增加，弹性降低，总体可接受性

差, 感官评分差异显著 ( $p < 0.05$ )。说明牛肉中添加番茄汁具有赋色的作用。因此, 依据牛肉贮藏过程中 TVB-N 含量和感官评分综合分析, 番茄汁添加量为 12% 保鲜效果最好。

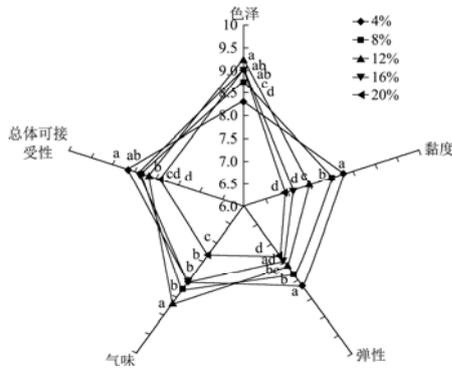


图 2 番茄汁添加量对牛肉感官品质的影响

Fig.2 Effects of the addition of tomato juice on the sensory quality of beef

## 2.2 生姜添加量的确定

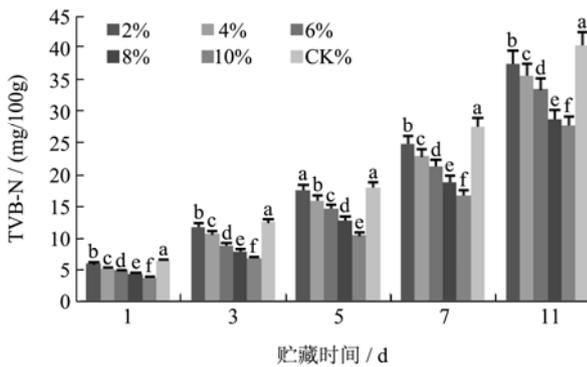


图 3 生姜汁添加量对牛肉 TVB-N 含量的影响

Fig.3 Effects of the addition of ginger juice on the TVB-N content of beef

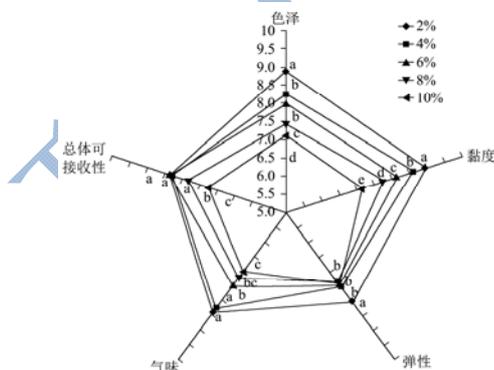


图 4 生姜汁添加量对牛肉感官品质的影响

Fig.4 Effects of the addition of ginger juice on the sensory quality of beef

由图 3 可知, 添加生姜汁可降低牛肉贮藏过程中 TVB-N 的含量, 生姜汁添加量越高, 贮藏锅中 TVB-N 含量越低。不同生姜添加量处理组间差异

显著 ( $p < 0.05$ ), 均显著高于对照组 ( $p < 0.05$ )。与对照组相比, 生姜汁添加量为 2%、4%、6%、8% 和 10% 时, 牛肉贮藏过程中 TVB-N 含量分别降低了 7%、15%、23%、33% 和 41%, 这主要是由于生姜对食品常见腐败菌具有抑菌作用<sup>[5,19]</sup>。由图 4 可以看出, 牛肉的感官品质评分随着生姜汁添加量的增加而逐渐降低, 其中不同生姜汁添加量处理组间黏度评分差异显著 ( $p < 0.05$ ), 生姜汁添加量为 4%、6%、8% 和 10% 处理组间弹性差异不显著 ( $p > 0.05$ ), 2%、4% 和 6% 处理组间总体可接受性评分差异不显著 ( $p > 0.05$ )。因此, 依据牛肉贮藏过程中 TVB-N 含量和感官评分综合分析, 生姜汁添加量为 6% 是效果最好。

## 2.3 猕猴桃汁添加量的确定

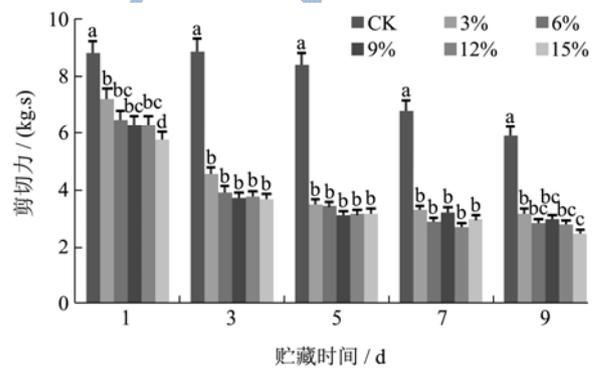


图 5 猕猴桃汁添加量对牛肉嫩度的影响

Fig.5 Effects of the addition of kiwi fruit juice on the tenderness of beef

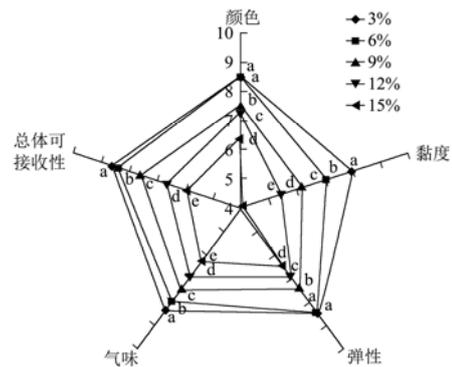


图 6 猕猴桃汁添加量对牛肉感官品质的影响

Fig.6 Effects of the addition of kiwi fruit juice on the sensory quality of beef

嫩度是消费者评价肉品的质量和满意度的重要因素之一, 与风味、多汁性、新鲜度、安全性以及营养价值作为肉品内在品质的评价指标<sup>[20-22]</sup>。由图 5 可知, 对照组牛肉的剪切力值显著高于处理组 ( $p < 0.05$ ), 因此, 添加猕猴桃汁可以降低牛肉的剪切力值, 改善嫩度。由图 6 可知, 除了 3% 与 6% 处理

组间弹性和肉色差异不显著 ( $p < 0.05$ )，其余不同处理组间感官指标评分均差异不显著 ( $p > 0.05$ )。因此，依据嫩度和感官评分综合分析；猕猴桃汁添加量为6%嫩化效果最好。

### 2.4 木瓜汁添加量的确定

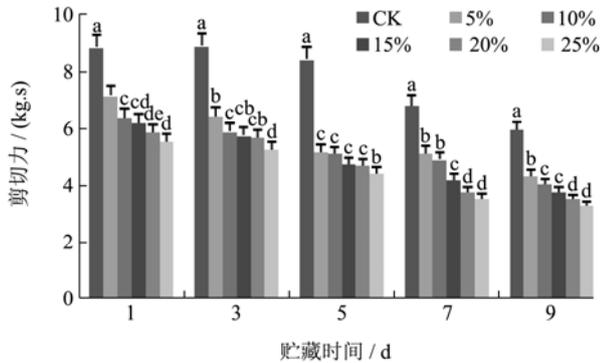


图7 木瓜汁添加量对牛肉嫩度的影响

Fig.7 Effects of the addition of papaya juice on the tenderness

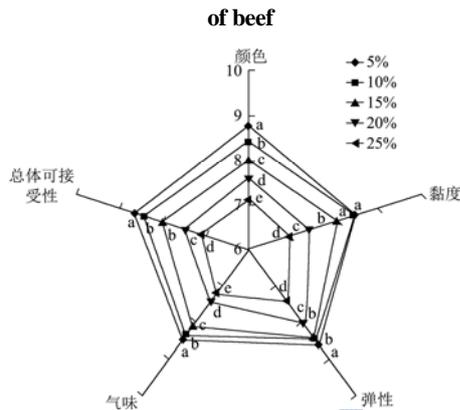


图8 木瓜汁添加量对牛肉感官品质的影响

Fig.8 Effects of the addition of papaya juice on the sensory quality of beef

由图7可知，牛肉的剪切力值随着木瓜汁添加量增加而逐渐降低，对照组的剪切力显著高于木瓜汁处理组 ( $p < 0.05$ )，但不同处理组间差异不显著 ( $p > 0.05$ )。由图8可知，牛肉的感官评分随着木瓜汁添加量增加而逐渐降低，除了5%与10%处理组间黏度差异不显著 ( $p > 0.05$ )，10%与15%处理组间弹性和总体可接受性评分差异不显著 ( $p > 0.05$ )，其余不同处理间感官指标评分均差异显著 ( $p < 0.05$ )。因此，依据嫩度和感官评分综合分析；木瓜汁添加量为10%嫩化效果最好。

由上述分析可知，通过单因素试验筛选出番茄和生姜汁的最佳添加量为12%和6%，对牛肉具有较好保鲜作用。6%猕猴桃汁和10%木瓜汁对牛肉具有较好的嫩化作用，可降低牛肉的剪切力值，改善嫩度。

## 2.5 响应面试验结果

### 2.5.1 响应面试验设计与结果

表2 响应面试验因素与水平

Table 2 Factors and levels of response surface methodology

因素	水平		
	-1	0	1
番茄汁添加量	8	12	16
生姜汁添加量	4	6	10
猕猴桃汁添加量	3	6	9
木瓜添加量	5	10	15

表3 响应面试验分析结果

Table 3 Experimental design and results of response surface methodology

试验号	A	B	C	D	感官评分
1	-1.000	0.000	-1.000	0.000	89
2	0.000	0.000	0.000	0.000	94.88
3	0.000	-1.000	0.000	1.000	85.5
4	-1.000	1.000	0.000	0.000	92.5
5	0.000	-1.000	0.000	-1.000	90.5
6	-1.000	0.000	1.000	0.000	91.25
7	0.000	-1.000	-1.000	0.000	89.6
8	1.000	-1.000	0.000	0.000	89.95
9	0.000	1.000	0.000	1.000	91.5
10	0.000	1.000	0.000	-1.000	86.7
11	0.000	0.000	0.000	0.000	94.88
12	1.000	0.000	1.000	0.000	89.88
13	0.000	0.000	-1.000	-1.000	85
14	0.000	-1.000	1.000	0.000	89.5
15	-1.000	0.000	0.000	-1.000	90.26
16	0.000	1.000	-1.000	0.000	88.4
17	1.000	0.000	-1.000	0.000	86
18	1.000	0.000	0.000	1.000	87
19	-1.000	0.000	0.000	1.000	86.89
20	0.000	0.000	0.000	0.000	95.5
21	0.000	0.000	0.000	0.000	94.55
22	-1.000	-1.000	0.000	0.000	91.5
23	0.000	0.000	0.000	0.000	94
24	1.000	1.000	0.000	0.000	89.5
25	0.000	0.000	1.000	-1.000	88.5
26	0.000	1.000	1.000	0.000	92.4
27	0.000	0.000	-1.000	1.000	87
28	0.000	0.000	1.000	1.000	88.44
29	1.000	0.000	0.000	-1.000	84

在单因素试验基础上, 根据 Box-Behnken 试验设计原理, 选取番茄汁、生姜汁、猕猴桃汁和木瓜汁添加量 (V/M) 4 个因素, 使用 Design-Expert 8.0 软件, 以感官评分为指标, 设计四因素三水平的响应面试验, 因素水平表如表 2 所示, 响应面试验结果如表 3 所示。通过对表 2 数据进行多元回归拟合, 得到回归方程为:

$$Y=94.76-1.26A+0.38B+1.25C+0.11D-0.38AB+0.41AC+1.59AD+1.02BC+2.45BD-0.52CD-2.69A^2-1.46B^2-3.04C^2-4.75D^2$$

由表 4 拟合模型进行方差分析可知。模型极显著 ( $p<0.01$ ), 失拟项不显著 ( $p=0.4834>0.05$ ), 表明该残差是由随机误差引起的; 模型决定系数  $R^2=0.9832$ ,  $R^2_{Adj}$  为 0.9664, 说明模型对试验拟合程

度很好, 能够真实地反映各影响因素与响应值之间的关系, 因此可以利用该方程对果蔬复合改质剂的感官评分进行分析和预测。

由表 4 回归模型系数显著性检验结果可知: 模型的一次项 A、C 影响极显著 ( $p<0.01$ ), B 影响显著 ( $p<0.05$ ), D 影响不显著 ( $p>0.05$ ) 且各因素对感官评分的影响程度依次为:  $A>C>B>D$ , 即番茄汁添加量>猕猴桃汁添加量>生姜汁添加量>木瓜汁添加量。二次项  $A^2$ 、 $B^2$ 、 $C^2$ 、 $D^2$  影响极显著 ( $p<0.01$ ), 交互项 AD、BC、BD 影响显著 ( $p<0.05$ ), 表明番茄添加量和木瓜汁添加量、生姜汁添加量和猕猴桃汁添加量、生姜汁添加量和木瓜汁添加量对感官评分有交互影响的作用。

表 4 方差分析

Table 4 Analysis of variance of regression model

变异来源	总和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	272.42	14	19.46	58.51	<0.0001	**
A	19.10	1	19.10	57.44	<0.0001	**
B	1.70	1	1.70	5.12	0.0401	*
C	18.68	1	18.68	56.16	<0.0001	**
D	0.16	1	0.16	0.47	0.5040	
AB	0.58	1	0.58	1.74	0.2087	
AC	0.66	1	0.66	2.00	0.1794	
AD	10.14	1	10.14	30.50	<0.0001	**
BC	4.20	1	4.20	12.64	0.0032	**
BD	24.01	1	24.01	72.20	<0.0001	**
CD	1.06	1	1.06	3.19	0.0957	
$A^2$	46.97	1	46.97	141.25	<0.0001	**
$B^2$	13.89	1	13.89	41.78	<0.0001	**
$C^2$	60.13	1	60.13	180.82	<0.0001	**
$D^2$	146.64	1	146.64	440.97	<0.0001	**
残差	4.66	14	0.33			
失拟项	3.46	10	0.35	1.15	0.4834	
净误差	1.20	4	0.30			
总离差	277.07	28				
$R^2$	0.9832					
$R^2_{Adj}$	0.9664					

注: \*表示<0.05, 显著; \*\*表示<0.01, 极显著。

### 2.5.2 响应面分析试验因素的相互影响

响应面是响应值与各因素所构成的三维空间曲面图, 因素对响应值影响越大, 曲面越陡峭。响应面坡度可显示两因素交互作用的显著性程度, 坡度平缓, 则表示两两因素交互作用不显著, 坡度较陡, 表示两两因素交互作用显著。而等高线的形状则可以反映交

互效应的显著程度, 椭圆形表示两两因素交互作用显著, 而圆形则与之相反<sup>[24,25]</sup>。

番茄汁添加量 (A)、生姜汁添加量 (B) 之间的交互作用对牛肉感官评分的等高线和响应面如图 5-A 所示。从图中可以看出: 牛肉的感官评分随着番茄和生姜汁添加量的增加而呈先增加后略有降低的趋势,

番茄汁与生姜汁添加量之间的交互作用对牛肉感官评分的影响不显著, 表现为较为曲面平滑。

番茄汁添加量 (A)、猕猴桃汁添加量 (C) 之间的交互作用对牛肉感官评分的等高线和响应面如图 5-B 所示。从图中可以看出; 牛肉的感官评分随着番茄汁和猕猴桃汁添加量增加而呈先增加后降低趋势, 猕猴桃汁与番茄汁添加量之间的交互作用对牛肉感官

评分的影响不显著, 表现为曲面较为平滑。

番茄汁添加量 (A)、木瓜汁添加量 (D) 之间的交互作用对牛肉感官评分的等高线和响应面如图 5-C 所示。从图中可以看出; 牛肉的感官评分随着番茄汁和木瓜汁添加量增加而呈先增加后降低趋势, 番茄汁与木瓜汁添加量之间的交互作用对牛肉感官评分的影响显著, 表现为曲面较为陡峭。

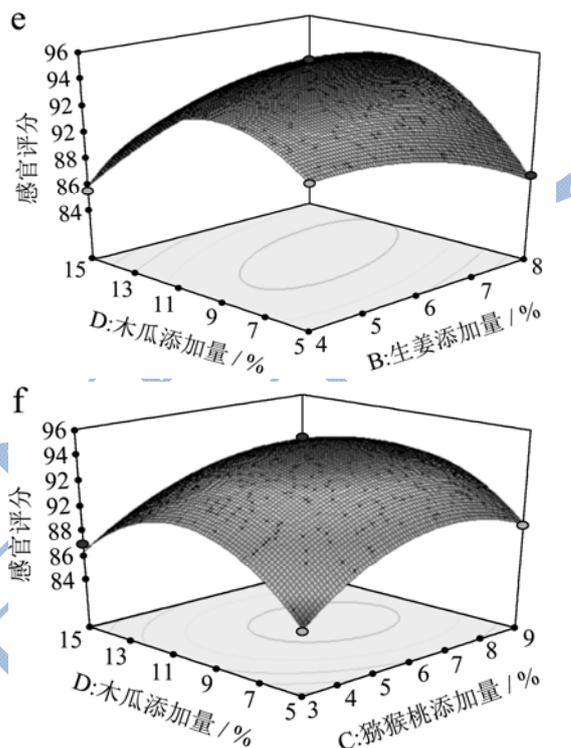
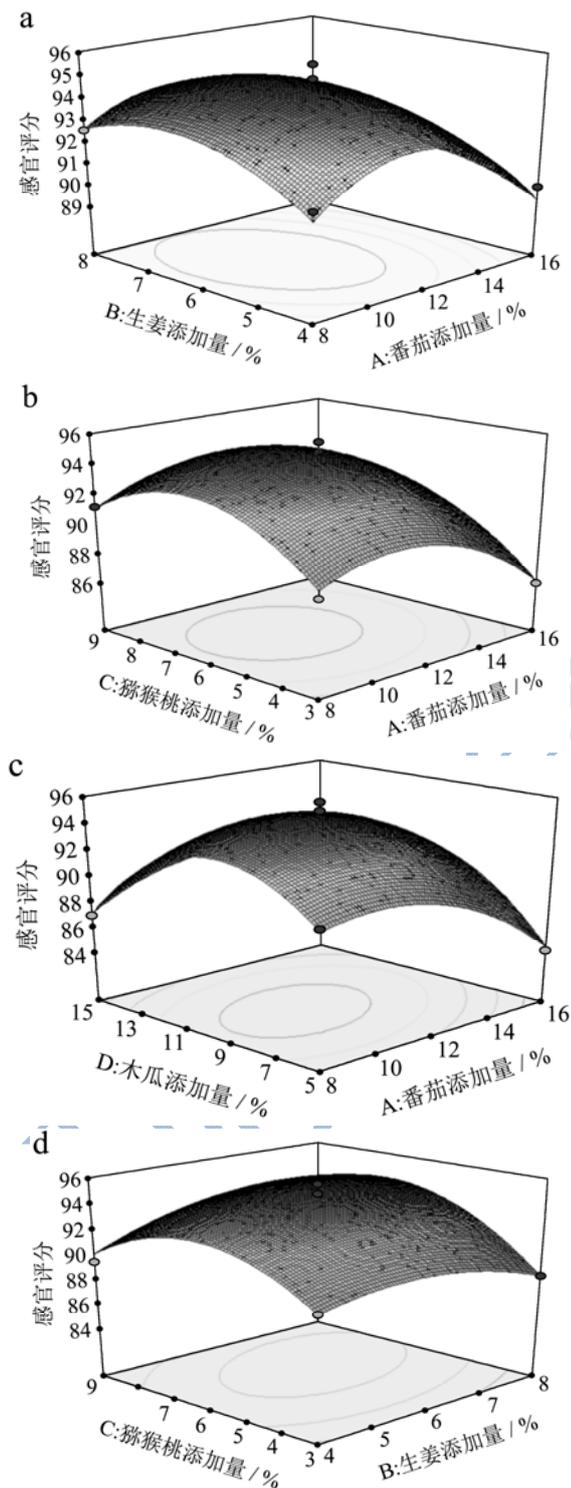


图9 各因素交互作用对牛肉感官评分影响的响应面图

Fig.9 Response surface plot for the effect of the interaction of different factors on the sensory scores of beef

注: a:  $Y=f(A, B)$ ; b:  $Y=f(A, C)$ ; c:  $Y=f(A, D)$ ; d:  $Y=f(B, C)$ ; e:  $Y=f(B, D)$ ; f:  $Y=f(C, D)$ 。

生姜汁添加量 (B)、猕猴桃汁添加量 (C) 之间的交互作用对牛肉感官评分的等高线和响应面如图 5-D 所示。从图中可以看出; 牛肉的感官评分随着生姜汁和猕猴桃汁添加量增加而呈先增加后降低趋势, 其中感官评分随猕猴桃汁添加量的变化率高于生姜汁添加量的变化率, 说明在猕猴桃汁和生姜汁添加量两因素中, 感官评分主要受猕猴桃汁添加量的影响。生姜汁与猕猴桃汁添加量之间的存在明显的交互作用, 表现为等高线呈椭圆形。

生姜汁添加量 (B)、木瓜汁添加量 (D) 之间的交互作用对牛肉感官评分的等高线和响应面如图 5-E 所示。从图中可以看出; 随着木瓜添加量的增加, 牛肉的感官评分呈先增加后降低的趋势, 随着生姜添加

量的增加,牛肉的感官评分先增加后趋于稳定趋势。且生姜汁与木瓜汁添加量之间的交互作用明显,表现为等高线呈椭圆形。

猕猴桃汁添加量(C)、木瓜汁添加量(D)之间的交互作用对牛肉感官评分的等高线和响应面如图5-D所示。从图中可以看出;牛肉的感官评分随着猕猴桃汁和木瓜汁添加量的增加而呈先增加后略有降低的趋势,猕猴桃汁与木瓜汁添加量之间的交互作用对牛肉感官评分的影响不显著,表现为等高线成圆形。

由上述分析可知,番茄汁与生姜汁、番茄汁与猕猴桃汁、猕猴桃汁与木瓜汁添加量之间的交互作用不明显,而番茄汁与木瓜汁、生姜汁与猕猴桃汁、生姜汁与木瓜汁添加量的交互作用显著,这与表4方差分析结果一致,所以试验结果是准确的。

### 2.5.3 最佳工艺参数的确定及验证性试验

通过对2.6中模型方程分析得出果蔬汁改质剂的最佳配比为:11.10%番茄汁、6.53%生姜汁、6.70%猕猴桃汁和10.15%木瓜汁进行复合,在此配比牛肉的感官评分为95.10。为了验证模型的可靠性,采用修正的最佳配比:番茄汁添加量12%、生姜汁添加量6%、猕猴桃汁添加量6%和木瓜汁添加量10%,对牛肉的感官评分进行验证性试验,平行试验3次,感官评分的平均值为95.85,与理论预测值(95.10)非常接近,证明该回归模型具有可靠性。

因此,采用此模型优化得到的提取参数准确可靠,具有实用价值。

通过响应面优化得到最佳配比为番茄汁添加量11.10%、生姜汁添加量6.53%、猕猴桃汁添加量6.70%和木瓜汁添加量10.15%,这与单因素的最佳试验条件基本吻合。响应面分析不仅可以反映出各因素之间的相互影响,还可以反映出连续变化趋势以及各因素相互作用下的理论最佳提取条件。在响应面法优化所得的条件下进行验证试验,所测得的感官评分与预测值接近,感官评分值为95.85,因此该模型能较好地预测情况,参数准确可靠,可用于实际操作。

## 3 结论

本研究是在单因素试验基础上以pH、TVB-N、嫩度、感官指标为评价指标,筛选出不同果蔬(番茄、生姜、猕猴桃和木瓜)最佳添加量,以牛肉的感官评分(色泽、风味、嫩度、多汁性和总体可接受性)为评价指标,通过Box-Behnken响应面优化试验得出果蔬复合改质剂的最佳配比为番茄汁添加量11.10%、生姜汁添加量6.53%、猕猴桃汁添加量6.70%和木瓜添加量10.15%,牛肉的感官评分最高为

95.10,验证实验得出牛肉感官评分为95.85,与预测值接近,说明响应面法对果蔬复合改质剂工艺条件的优化是可行的。因此,经过响应面优化牛肉的果蔬复合改质剂可作为一种天然添加剂改善牛肉品质,延长货架期,替代化学食品添加剂的使用,减少对人体的危害。

## 参考文献

- [1] Hambidge K M, Krebs N F. Zinc deficiency: a special challenge [J]. *The Journal of Nutrition*, 2007, 137(4): 1101
- [2] Lyu F, Shen K, Ding Y, et al. Effect of pretreatment with carbon monoxide and ozone on the quality of vacuum packaged beef meats [J]. *Meat Science*, 2016, 117: 137-146
- [3] Udenigwe C C, Howard A. Meat proteome as source of functional biopeptides [J]. *Food Research International*, 2013, 54(1): 1021-1032
- [4] Joo S T, Kim G D, Hwang Y H, et al. Control of fresh meat quality through manipulation of muscle fiber characteristics [J]. *Meat Science*, 2013, 95(4): 828-36
- [5] 刘晓蓉.大蒜、生姜、桔皮提取液复配抑菌防腐作用的研究[J].*现代食品科技*,2003,19(1):26-29  
LIU Xiao-rong. Study on antimicrobial action of the extraction mixture from garlic, ginger and tangerine peel [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2003, 19(1): 26-29
- [6] Yılmaz İ, Simşek O, Işıklı M. Fatty acid composition and quality characteristics of low-fat cooked sausages made with beef and chicken meat, tomato juice and sunflower oil [J]. *Meat Science*, 2002, 62(2): 253-258
- [7] Deda M S, Bloukas J G, Fista G A. Effect of tomato paste and nitrite level on processing and quality characteristics of frankfurters [J]. *Meat Science*, 2007, 76(3): 501
- [8] 宫春波,杨伟,刘永红,等.鲜姜汁抑菌效果及其在鲜肉保鲜中的研究[J].*肉类工业*,2005,4:29-31  
GONG Chun-bo, YANG Wei, LIU Yong-hong, et al. Study on the antibacterial effect of fresh ginger juice and its application in fresh meat [J]. *Meat Industry*, 2005, 4: 29-31
- [9] 任丽丽,郭婷.醋酸和生姜汁对鲜肉保鲜效果的研究[J].*山东食品发酵*,2012,4:34-38  
REN Li-li, GUO Ting. Effect of acetic acid and raw ginger juice on chilled pork [J]. *Shandong Food Fermentation*, 2012, 4: 34-38
- [10] Han J, Morton J D, Bekhit A E, et al. Pre-rigor infusion with kiwifruit juice improves lamb tenderness [J]. *Meat Science*, 2009, 82(3): 324-30
- [11] Toohey E S, Kerr M J, Van d V R, et al. The effect of a kiwi

- fruit based solution on meat traits in beef m. semimembranosus (topside) [J]. *Meat Science*, 2011, 88(3): 468-471
- [12] 明建,曾凯芳,李洪军.木瓜蛋白酶嫩化牛肉效果的研究[J]. *食品科学*,2009,30(7):210-214  
MING Jian, ZENG Kai-fang, LI Hong-jun. Study on effects of papain treatment on tenderness of beef [J]. *Food Science*, 2009, 30(7): 210-214
- [13] Ha M, Aeda B, Carne A, et al. Characterisation of commercial papain, bromelain, actinidin and zingibain protease preparations and their activities toward meat proteins [J]. *Food Chemistry*, 2012, 134(1): 95-105
- [14] Abdel-Naeem H H S, Mohamed H M H. Improving the physico-chemical and sensory characteristics of camel meat burger patties using ginger extract and papain [J]. *Meat Science*, 2016, 118: 52
- [15] 许立兴,薛晓东,仵轩轩,等.微冻及冰温结合气调包装对羊肉的保鲜效果[J]. *食品科学*,2017,38(3):232-238  
XU Li-xing, XUE Xiao-dong, WU Xuan-xuan, et al. Comparative Effects of super chilling and ice-temperature combined with modified atmosphere packaging on mutton quality during storage [J]. *Food Science*, 2017, 38(3): 232-238
- [16] 张玉卿,孙宝忠,郎玉苗,等.不同形态牛肉食用品质和营养成分分析[J]. *肉类研究*,2015,6:1-4  
ZHANG Yu-qing, SUN Bao-zhong, LANG Yu-miao, et al. Comparative analysis of eating and nutritional qualities of fresh, chilled and thawed beef [J]. *Meat Research*, 2015, 6: 1-4
- [17] Lang Y, Wu B, Sun B, et al. Consumer Evaluation of Chinese Instant-boiled Beef [J]. *Food Science & Technology Research*, 2015, 21(6): 793-799
- [18] 王颂萍.番茄酱部分替代亚硝酸盐对低温乳化肠品质的影响[D].邯郸:河北工程大学,2015  
WANG Song-ping. Production of Low-temperature Emulsion sausage with Tomato Paste Partially Substitute of Nitrite [J]. Handan: Hebei University of Engineering, 2015
- [19] 任玉锋,刘雅琴,董博博,等.生姜汁、大蒜汁对灵武长枣采后病原真菌抑菌效果的研究[J]. *北方园艺*,2010,7:145-147  
REN Yu-feng, LIU Ya-qin, DONG Bo-bo, et al. Study on antimicrobial effect on post-harvest pathogenic fungi of ginger juice and garlic juice to lingwu long jujube [J]. *Northern Horticulture*, 2010, 7: 145-147
- [20] Verbeke W, Van W L, de Barcellos M D, et al. European beef consumers' interest in a beef eating-quality guarantee Insights from a qualitative study in four EU countries [J]. *Appetite*, 2010, 54(2): 289
- [21] Brunsø K, Bredahl L, Grunert K G, et al. Consumer perception of the quality of beef resulting from various fattening regimes [J]. *Livestock Production Science*, 2005, 94(1-2): 83-93
- [22] Krystallis A, Chrysoschoidis G, Scholderer J. Consumer-perceived quality in 'traditional' food chains: the case of the Greek meat supply chain [J]. *Appetite*, 2007, 48(1): 54-68
- [23] 张璐,乔旭光,刘晓宇,等.响应面法优化姜脯糖煮液活性炭脱色工艺[J]. *中国农业科学*,2013,46(14):3072-3078  
ZHANG Lu, QIAO Xu-guang, LIU Xiao-yu, et al. The optimization of activated carbon decolorization process of preserved ginger syrup-juice by response surface methodology [J]. *Chinese Agricultural Science*, 2013, 46(14): 3072-3078
- [24] 蒲立柠,陈光静,阚建全.响应面法优化青稞麸皮薏仁红曲霉发酵工艺[J]. *食品科学*,2017,38(2):264-270  
PU Li-ning, CHEN Guang-jing, KAN Jian-quan. optimization of fermentation process of a mixture of highland barley bran and coix seed by monascus purpureus using response surface methodology [J]. *Food Science*, 2017, 38(2): 264-270