

应用响应面法优化鲜核桃低温贮藏保鲜工艺

虎云青^{1,2}, 巩芳娥^{1,2}, 朱建朝^{1,2*}, 汪海^{1,2}, 任志勇^{1,2}

(¹陇南市经济林研究院核桃研究所, 甘肃武都 746000; ²甘肃省核桃工程技术研究中心, 甘肃武都 746000)

摘要:【目的】优化鲜核桃低温贮藏的保鲜工艺条件。【方法】选择清香核桃鲜果作为试材, 贮藏环境温度(-1 ± 0.5)℃、相对湿度70%~80%, 对直接放入聚乙烯(PE)袋的1-甲基环丙烯(1-MCP)保鲜剂用量、PE袋厚度、打孔数在单因素试验基础上采用响应面设计, 以综合评分为响应值, 对其保鲜工艺参数进行优化, 然后, 从感官和风味角度, 对最佳工艺下鲜核桃低温贮藏保鲜效果进行评价。【结果】鲜核桃(5 kg)低温贮藏保鲜最佳工艺为1-MCP保鲜剂1袋(0.625 g)、PE袋厚度为40 μm、打孔数1个(孔直径5 mm; 保鲜袋400 mm × 600 mm), 理论综合评分为94.48。从感官和风味角度评价, 鲜核桃在最佳工艺下低温贮藏保鲜90 d内, 其感官品质级别、品质综合评价均小于2级, 种皮色差肉眼无法区分, 风味基本无变化, 说明该试验最佳工艺对鲜核桃保鲜效果较好。【结论】清香鲜核桃(5 kg)最佳低温贮藏保鲜工艺为1-MCP保鲜剂1袋、PE袋厚度为40 μm、打孔数1个。研究结果为鲜核桃低温贮藏保鲜提供了依据。

关键词: 鲜核桃; 响应面法; 低温贮藏; 保鲜; 感官; 风味

中图分类号: S664.1

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2021)10-1802-11

Optimization of low temperature storage and preservation technology of fresh walnut by response surface method

HU Yunqing^{1,2}, GONG Fang'e^{1,2}, ZHU Jianzhao^{1,2*}, WANG Hai^{1,2}, REN Zhiyong^{1,2}

(*Institute of Walnut Research, Longnan Economic Forest Research Institute, Wudu 746000, Gansu, China; ²Gansu Walnut Engineering Technology Research Center, Wudu 746000, Gansu, China*)

Abstract: 【Objective】 In order to prevent the loss of nutrients and prolong the shelf life of fresh walnut during storage, the best preservation conditions of low temperature storage for fresh walnut were optimized. 【Methods】 In this experiment, the fresh fruits of Qingxiang were selected as the test materials. Under the conditions of cold storage [temperature: (-1 ± 0.5) °C, relative humidity: 70%-80%], the walnut kernel moisture content, seed coat color difference, peel color conversion index, peel browning index, fruit cracking rate and decay rate were evaluated, and the comprehensive indexes were calculated according to Hassan method. Then, single factor experiments were conducted on the number of 1-methylcyclopropene (1-MCP) preservative bags, the thickness of polyethylene (PE) bags, and the number of holes on the bags. 1-MCP was directly put into the PE bag. The response surface design was used to optimize the best preservation process parameters with the comprehensive scores as the response value. Finally, according to the best preservation process parameters, the fresh walnut fruits of Qingxiang were kept fresh for 90 days, and the comprehensive quality evaluation and sensory quality level were determined according to the consulting survey results of consumers (18-45 years old). The changes of fresh walnut flavor during the preservation period were analyzed by principal component analysis. 【Results】 The best technology of low-temperature storage for 5 kg fresh walnut fruits was 1 bag (0.625 g) of 1-MCP, 40 μm PE and 1 holes on the bag (hole diameter 5 mm; fresh keeping bag 400 mm × 600 mm.

收稿日期: 2021-03-18 接受日期: 2021-06-27

基金项目: 中央财政林业科技推广示范项目(【2021】ZYTG006); 中央财政林业科技推广项目((2019)ZYTG11); 甘肃省林业科技项目(2015kj028)

作者简介: 虎云青, 女, 高级工程师, 主要从核桃优质品种选育与保鲜研究。E-mail: 1194092154@126.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: 2394487879@qq.com

The theoretical comprehensive score was 94.48. From the perspectives of sensory and flavor evaluation, the sensory quality level and comprehensive quality evaluation of fresh walnut stored at low temperature for 90 days under the best technology were less than grade 2, the color difference of seed coat could not be distinguished by naked eyes, and the flavor basically did not change, which indicated that the best technology of this experiment had a good preservation effect on fresh walnut. 【Conclusion】 The results showed that the best low-temperature storage technology for 5 kg the Qingxiang fresh walnut is 1 bag of 1-MCP, 40 μm PE and 1 hole on the bag. The results of this study would provide a basis for low temperature storage of fresh walnut.

Key words: Fresh walnut; Response surface method; Low-temperature storage; Preservation; Sensory; Flavor

随着社会的发展和科技的进步,人们对食品的营养与口感提出了更高的要求。鲜核桃^[1]营养丰富,口感香脆^[2-3],具有健脑^[4-5]、延缓衰老^[6]、保护心脑血管^[7]等功效,符合当今食品消费潮流,市场需求量呈上升趋势^[8],经济价值十分可观。但是,核桃作为鲜果进入市场具有很大的局限性,其主要原因是缺乏鲜核桃贮藏保鲜的配套工艺。近年来相关学者研究发现,鲜核桃的保鲜工艺与其贮藏的环境温度、保鲜剂种类与浓度、聚乙烯(PE)袋厚度等条件有关,如王炜等^[9]研究表明,低温能够抑制鲜核桃贮藏过程中的脂肪酸代谢;陈柏等^[10]对1-甲基环丙烯(1-MCP)保鲜剂、伊源保鲜剂、果蜡保鲜剂进行对比研究,发现 $3\ \mu\text{L}\cdot\text{L}^{-1}$ 的1-MCP保鲜剂对清香鲜核桃的保鲜效果最好;李江阔等^[11]研究发现,鲜核桃的保鲜效果与1-MCP保鲜剂浓度有关;冯文煜等^[12]通过比较PE30(30 μm)、thk-PE(45 μm)、PE50(50 μm)不同厚度保鲜袋对鲜核桃贮藏品质的影响,发现PE50保鲜袋保鲜效果最好,且鲜果贮藏60 d,腐烂指数小于10%,说明鲜核桃贮藏品质与贮藏工艺PE袋的厚度有关。此外,马惠玲等^[13]研究表明,自发气调(O_2 和 CO_2)能够使PE袋内鲜核桃贮藏95 d左右,保鲜率达到100%,果仁依然新鲜如初。虽然国内学者对鲜核桃保鲜相关技术做了大量研究,但是对其系统性配套保鲜工艺鲜有研究,限制了鲜核桃在市场上长期销售。因此,本试验在低温(-1 ± 0.5) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度70%~80%的环境下,以1-MCP保鲜剂用量、PE袋厚度、打孔数为贮藏条件,对陇南清香核桃鲜果的保鲜工艺进行优化。本研究结果为鲜核桃贮藏保鲜工艺的推广与应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料

以陇南市经济林研究院核桃研究所种质资源库内15年生清香核桃鲜果为试材,其成熟度为八成熟(果面颜色开始转黄,鲜果与果壳少量分离,果皮未有裂缝),果面光洁、无病、无伤、无果柄。随后将鲜果连周转框置于常温通风避光处阴凉24 h,进行预冷处理(温度 0 ± 1 $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为70%~80%的冷库预冷72 h)。然后密封包装(每个样本30袋,每袋约5 kg),贮藏于温度为 (0 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度为70%~80%的冷库中,待用。

1-甲基环丙烯(1-MCP)保鲜剂(聪明鲜,0.625 g·袋⁻¹,有效成分0.014%)购买于美国罗门哈斯公司;聚乙烯(PE)袋保鲜袋(400 mm × 600 mm)购自江苏省常州市迪瑞尔包装材料有限公司;打孔直径为5 mm。

1.2 仪器

PL203型电子天平(梅特勒-托利多上海仪器有限公司);101-1型电热鼓风干燥箱(北京科伟永兴仪器有限公司);CM-700D型便携式分光测色仪(简称色差仪)(日本Konica Minolta);PEN 3.5电子鼻分析仪(德国AIRSENSE公司)。

1.3 方法

由于鲜核桃数量及冷库空间有限,本研究单因素试验、响应面优化试验及保鲜效果评价试验的平行组均为30组,且每年单因素试验、响应面优化试验、保鲜效果评价试验各进行1次,连续重复4 a。具体方法如下。

1.3.1 单因素试验 初始试验材料置于1-MCP保鲜剂为1袋、PE袋厚度为30 μm 、打孔数为1孔的条件下,试验设计的各因素水平分别为1-MCP保鲜剂袋数0、1、2、3、4袋,PE袋厚度20、30、40、50、60 μm ,打孔数0、1、2、3、4个,以综合评分为指标,进行单因素试验,每个试验3次重复。

1.3.2 响应面法优化试验 参考刘凤云等^[14]和邢文君^[15]的响应面分析法,在单因素试验基础上,以1-MCP保鲜剂袋数、PE袋厚度、打孔数为因素,以综合评分为响应值,通过Design-Expert V8.0.6软件设计Box-Behnken Design(BBD)试验,试验各因素水平见表1。

表1 响应面试验因素水平

Table 1 Factors and levels of response surface experiment

水平 Level	因素 Factors		
	1-MCP 保鲜剂袋数 Number of 1-MCP preservative bags	PE 袋厚度 PE bag thickness/ μm	打孔数 Number of holes
-1	0	30	0
0	1	40	1
1	2	50	2

1.3.3 综合评分 采用Hassan方法对鲜核桃低温贮藏保鲜效果进行综合评分^[16],其综合评分(y)与核桃仁含水率(x1)、种皮色差(x2)、果皮转色指数(x3)、果皮褐变指数(x4)、裂果率(x5)、腐烂率(x6)的关系如下:

$$y = 17x_1 + 16.6[(1-x_2) + (1-x_3) + (1-x_4) + (1-x_5) + (1-x_6)]$$

式中x1、x2、x3、x4、x5、x6均为各项“归一值”。

1.3.4 检测指标与检测方法 (1)含水率(M)。对鲜核桃仁称质量后,置于85℃恒温干燥箱中4h,待冷却后称量干质量,计算公式如下:

$$M/\% = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100$$

式中:M为含水率,m1为鲜核桃仁干燥前质量,m2为鲜核桃仁干燥后质量。

(2)种皮色差变化。参考张文涛等^[17]的方法,每批次取鲜核桃果仁30个,采用全自动测色色差计进行检测分析,色差变化(ΔE)计算公式如下:

$$\Delta E = [(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2]^{1/2}$$

式中: ΔE 表示色差值, ΔL 表示亮度值, Δa 表示

红绿值, Δb 表示黄蓝值。

(3)果皮转色指数。按照果皮转色指数分级标准依次为:0级(果皮深绿色)、1级(果皮黄绿色)、2级(果皮底色为黄色,有少许褐色)、3级(果皮底色为褐色)。计算公式如下:

$$\text{果皮转色指数}/\% = [\sum(\text{果皮个数} \times \text{级数}) / (\text{果皮个数} \times \text{最高级数})] \times 100$$

(4)果皮褐变指数。按果皮褐变指数分级标准依次为:0级(果皮无褐变)、1级(果皮有小于1/3的面积发生褐变)、2级(果皮有1/3~2/3的面积发生褐变)、3级(果皮有大于2/3的面积发生褐变),计算公式如下:

$$\text{果皮褐变指数}/\% = [\sum(\text{果皮个数} \times \text{级数}) / (\text{果皮个数} \times \text{最高级数})] \times 100$$

(5)裂果率。按照试验方案对鲜核桃果面有裂缝的个数进行统计,并计算裂果率,计算公式如下:

$$\text{裂果率}/\% = (\text{果面有裂缝的鲜果个数} / \text{鲜果总数}) \times 100$$

(6)腐烂率。依据试验方案对鲜核桃腐烂个数进行统计,并计算腐烂率,计算公式如下:

$$\text{腐烂率}/\% = (\text{鲜果腐烂个数} / \text{鲜果总个数}) \times 100$$

1.3.5 保鲜效果评价方法 (1)感官评价。参照王进等^[18]的感官评价方法。从每种处理样品中随机取10个核桃,分别观测种皮颜色、种皮分离难易程度、核桃仁颜色,按照表2标准进行评价,其核桃仁感官品质级别按照公式(1)计算,品质综合评价按照公式(2)加权平均法进行计算:

$$\text{感官品质级别} = \sum(\text{品质级别} \times \text{本级核桃数}) / \text{核桃总数} \quad (1)$$

$$\text{品质综合评价} = \text{种皮颜色(级)} \times 0.3 + \text{种皮分离度(级)} \times 0.4 + \text{核桃仁色泽(级)} \times 0.3 \quad (2)$$

由于核桃仁感官品质评价至今没有标准可依,因此公式(2)中各项权重根据18~45岁的消费群体

表2 核桃仁各感官品质分级定义

Table 2 Definition of each sensory quality classification of walnut kernels

性状 Character	分级 Classification				
	1级 Grade 1	2级 Grade 2	3级 Grade 3	4级 Grade 4	5级 Grade 5
种皮颜色 Seed coat color	浅亮黄色 Light bright yellow	暗黄色 Dark yellow	暗褐色 Dark brown	褐色 Brown	黑褐色 Black brown
种皮分离度 Seed coat separation	可轻易大片剥取 Can be easily stripped in large pieces	可小片剥取,有残留 Can be stripped in small pieces, have residue	难以剥取,大量残留 Difficult to strip, a lot of residue	同3级 Same as level 3	同3级 Same as level 3
核桃仁色泽 Color of walnut kernel	白色 White	黄白色 Yellow white	黄色 Yellow	黄褐色 Yellowish brown	黑褐色 Black brown

的咨询调查结果确定。

(2)鲜核桃仁风味电子鼻分析。参考张正武等^[9]电子鼻分析检测分析方法,但稍有改动。快速剥取低温贮藏的鲜核桃仁约10.000 g,迅速装进顶空瓶内,待瓶内气体平衡后,在载气为1 mL·min⁻¹的洁净干燥空气、采样间隔时间为2 s、零点调节为10 s、清洗时间为300 s、数据采集时间为90 s等条件下检测分析。

1.4 数据处理

每组试验设置3个平行,试验数据均以($\bar{x} \pm s$)

形式表示,采用单因素方差分析和多重比较进行显著性分析, $p < 0.01$ 表示差异极显著。利用Design-Expert V8.0.6软件分析响应面数据,应用SIMCA-P 14.1软件进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

如图1所示,鲜核桃在低温贮藏保鲜过程中,随着1-MCP保鲜剂袋数的增加,其核桃仁含水率呈先上升后下降的趋势,种皮色差、果皮转色指数、果皮

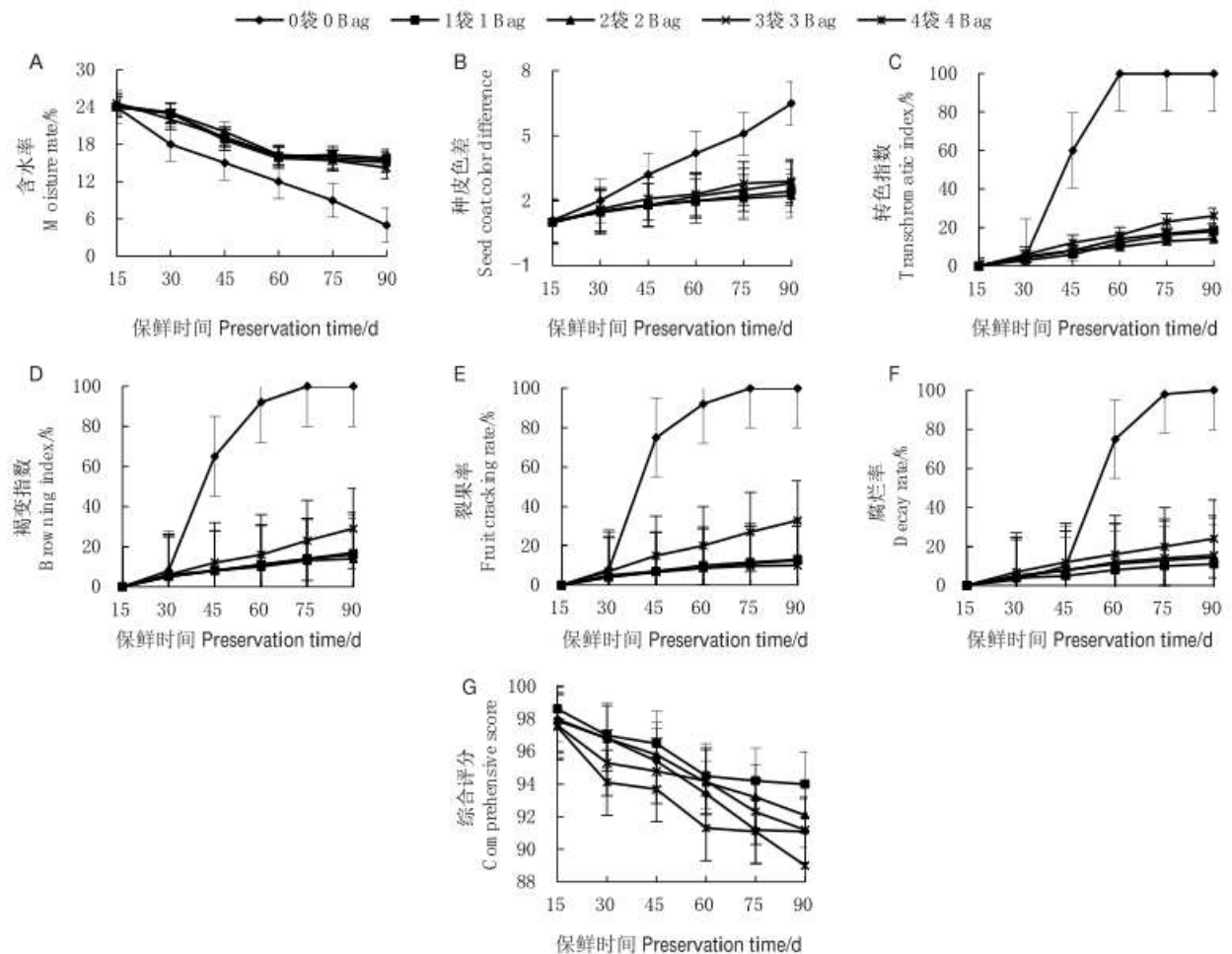


图1 单因素分析1-MCP保鲜剂数量与保鲜效果的关系

Fig. 1 Single factor analysis of the relationship between the quantity of 1-MCP preservative and its preservation effect

褐变指数、裂果率、腐烂率均呈先下降后上升趋势,综合评分呈先上升后下降的趋势,且1-MCP保鲜剂袋数1袋综合评分最高,0、2、3袋综合评分较高,4袋综合评分最低,在保证保鲜效果的前提下,降低保鲜工艺成本,本研究中1-MCP保鲜剂袋数选择0袋、1袋、2袋进行响应面优化试验设计。

由图2可知,鲜核桃在低温贮藏过程中,随着PE袋厚度的增加,其含水率变化呈现先上升后下降趋势,种皮色差、果皮转色指数、果皮褐变指数、裂果率、腐烂率呈现先下降后上升趋势,综合评分呈先上升后下降趋势,且PE袋厚度30、40、50 μm综合评分较高,PE袋厚度20 μm综合评分最低。因此,PE袋

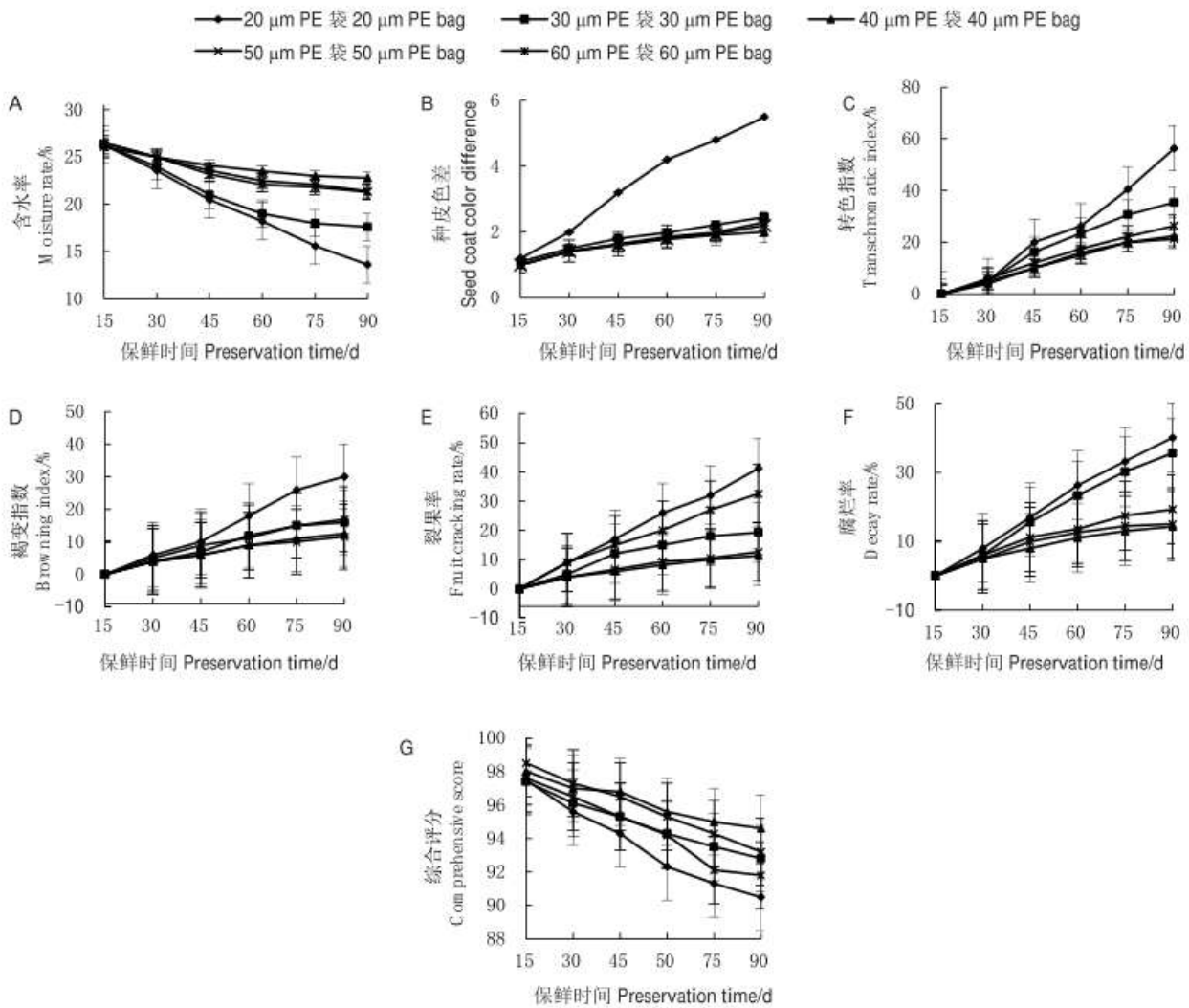


图 2 单因素分析 PE 袋厚度与保鲜效果的关系

Fig. 2 Single factor analysis of the relationship between PE bag thickness and preservation effect

厚度选择 30、40、50 μm 进行响应面优化试验设计。

如图 3 所示,鲜核桃在低温贮藏过程中,随着打孔数的增加,其含水率呈下降趋势,种皮色差、果皮转色指数、果皮褐变指数、裂果率、鲜果腐烂率整体均呈上升趋势,综合评分呈先上升后下降趋势,且打孔数为 0、1、2 个综合评分较高。因此,打孔数选择 0、1、2 个进行响应面优化试验设计。

2.2 响应面优化保鲜工艺

2.2.1 试验设计与结果 响应面试验设计方案与结果见表 3。

2.2.2 模型拟合和显著性分析 应用 Design Expert V8.0.6 软件对试验模型进行多元回归拟合,其综合评分(Y)与 1-MCP 保鲜剂袋数(A)、PE 袋厚度

(B)、打孔数(C)的多元回归方程为: $Y=94.48 + 8.08A + 15B - 8.68C - 9.23AB + 11.03AC + 7.68BC - 11.75A^2 - 15.95B^2 - 11.69C^2$ 。

回归模型的方差分析中一次项 A、B、C 均为极显著项 ($p < 0.01$),显著程度为 $B > C > A$,说明 PE 袋厚度对鲜核桃低温贮藏保鲜综合评分影响最大,打孔数次之,1-MCP 保鲜剂袋数影响较小;二次项中, A^2 、 B^2 、 C^2 均为极显著项 ($p < 0.01$),说明 1-MCP 保鲜剂袋数、PE 袋厚度、打孔数对鲜核桃低温贮藏保鲜综合评分的影响是非线性的;交叉项中, AB 、 BC 为极显著项 ($p < 0.01$), AC 为不显著项 ($p > 0.05$),表明 1-MCP 保鲜剂袋数与 PE 袋厚度、PE 袋厚度与打孔数之间的交互作用非常显著,1-MCP 保鲜剂袋数与打孔数之间的交互作用不明显。

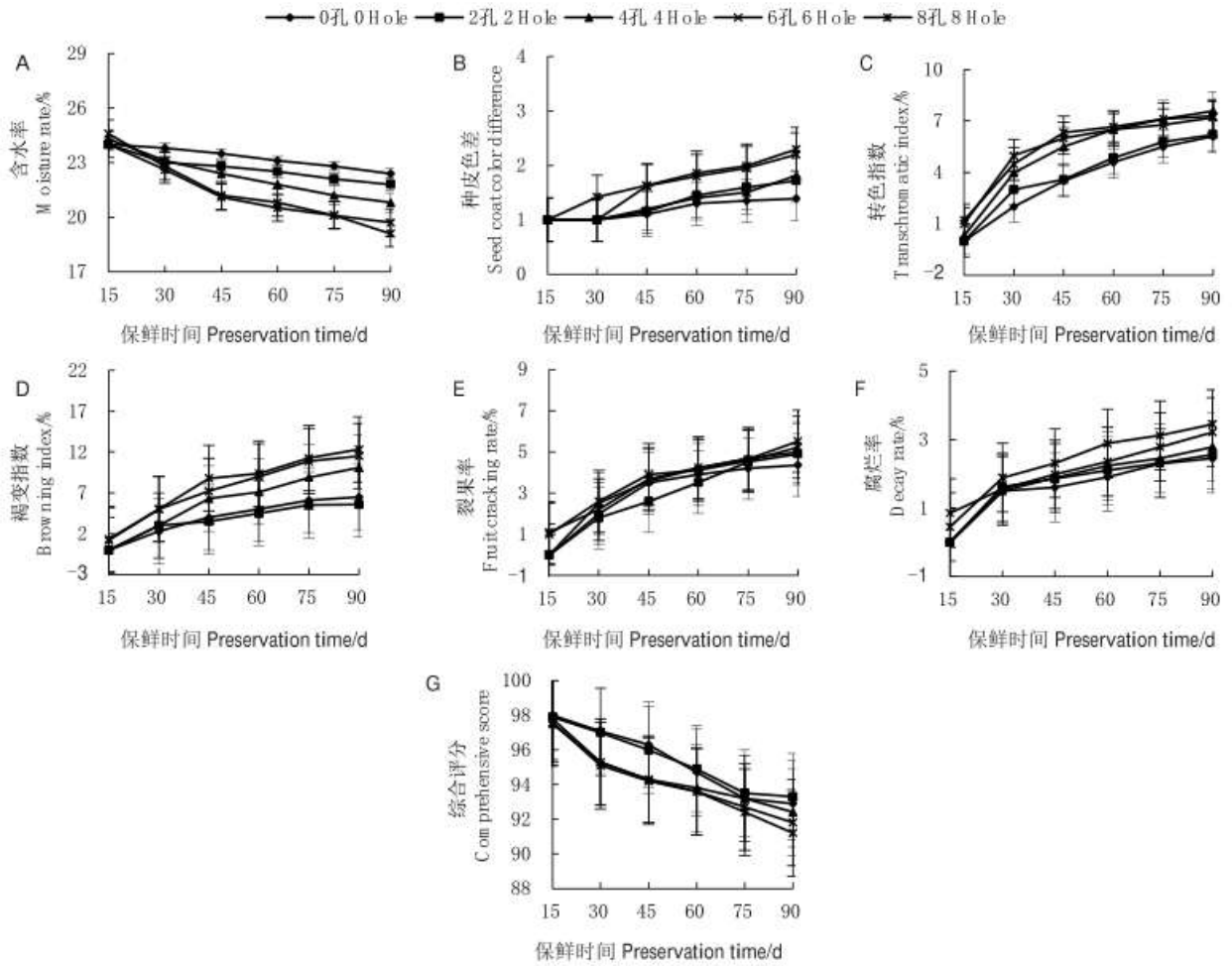


图3 单因素分析打孔数与保鲜效果的关系

Fig. 3 Single factor analysis of the relationship between the number of holes and preservation effect

表3 响应面试验设计与试验结果

Table 3 Design and test results of response surface test

序号 No.	1-MCP 保鲜剂袋数 Number of 1-MCP preservative bags	PE 袋厚度 PE bag thickness/ μm	打孔数 Number of holes	综合评分 Comprehensive score
1	0	30	1	87.10
2	0	50	1	69.02
3	1	30	0	79.05
4	1	30	2	78.10
5	2	40	2	72.03
6	2	40	0	81.02
7	0	40	2	66.10
8	1	40	1	87.04
9	1	40	1	92.05
10	2	50	1	77.10
11	2	30	1	87.03
12	1	50	0	87.05
13	1	40	1	89.07
14	1	40	1	93.05
15	1	40	1	88.06
16	1	50	2	64.03
17	0	40	0	82.03

模型拟合的 p 值小于 0.01, 则该模型极显著, 失拟项的 p 值大于 0.05, 不显著, 且模型的回归方程的拟合系数 $R^2 = 0.9787$ 、校正决定系数 $R^2_{adj} = 0.9514$ 、变异系数 $CV = 5.9$, 以上参数说明, 该模型拟合度高、试验误差小, 能够较好地反映 1-MCP 保鲜剂袋数、PE 袋厚度、打孔数与鲜核桃低温贮藏保鲜综合评分的变化关系, 可以对鲜核桃低温贮藏保鲜工艺进行分析和预测。

1-MCP 保鲜剂袋数、PE 袋厚度、打孔数的交互作用对鲜核桃低温贮藏保鲜工艺影响的 3D 响应面如图 4~图 6 所示, 响应面图是综合评分与各影响因素所形成的三维空间曲面图, 能够反映出最优取值点及各参数之间的相互作用, 其曲线越陡, 则该因素对鲜核桃低温贮藏保鲜综合评分影响越大^[20]。从图 4~图 6 可以看出, PE 袋厚度对鲜核桃低温贮藏保鲜综合评分影响最大, 打孔数影响次之, 1-MCP 保鲜

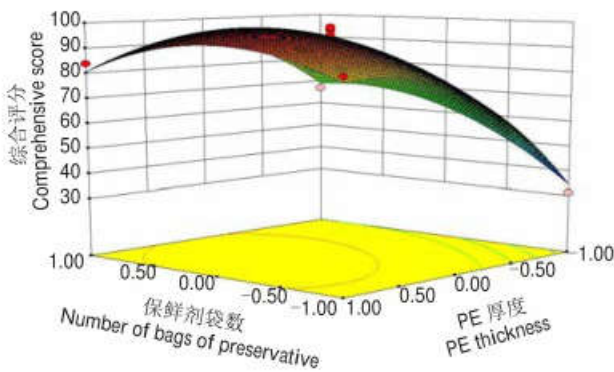


图 4 1-MCP 保鲜剂袋数与 PE 袋厚度之间交互作用三维响应面图

Fig. 4 3D response surface graph of interaction between the number of bags of 1-MCP preservative and the thickness of PE bag

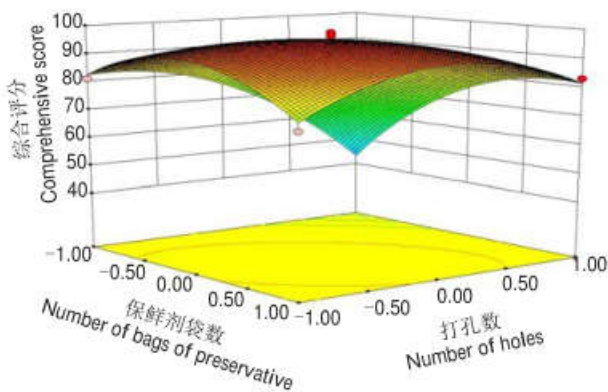


图 5 1-MCP 保鲜剂袋数与打孔数之间交互作用三维响应面图

Fig. 5 3D response surface graph of interaction between the number of bags of 1-MCP preservative and the number of holes

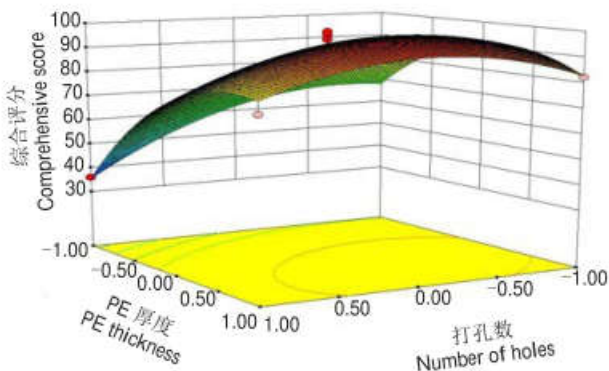


图 6 PE 袋厚度与打孔数之间交互作用三维响应面图

Fig. 6 3D response surface graph of interaction between the thickness of PE bag and the number of holes

剂袋数影响较小。依据试验分析结果,计算并预测二次回归方程,则鲜核桃(5 kg)低温贮藏保鲜工艺最优工艺为1-MCP 保鲜剂1袋、PE袋厚度为40 μm、打孔数1个,理论综合评分为94.48。

2.3 保鲜效果评价

在最佳保鲜工艺条件下,鲜核桃低温贮藏15 d,核桃仁感官的品质级别为1级,品质综合评价为1.2级;随着低温贮藏保鲜时间的延长,核桃仁感官品质级别、品质综合评价均有上升趋势,但是在低温贮藏保鲜45~90 d内,鲜核桃仁感官的品质级别、品质综合评价均小于2级,且上升不显著($p < 0.05$)(图7~图8),同时在整个保鲜过程中鲜核桃种皮色差不

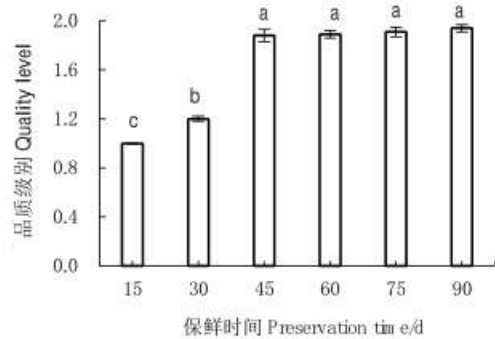


图 7 鲜核桃感官品质级别分析

Fig. 7 The sensory quality grade analysis of fresh walnut

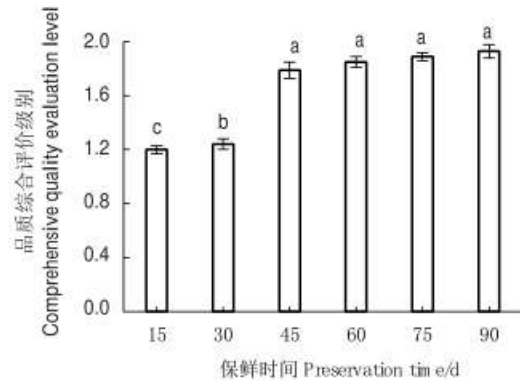


图 8 鲜核桃感官品质综合评价

Fig. 8 the comprehensive evaluation of sensory quality of fresh walnut

大,肉眼区分困难(图9),以上分析说明本试验最佳保鲜条件对鲜核桃低温贮藏保鲜效果较好。

核桃风味物质由烷烃类、醇类、酯类物、酚类等化合物组成^[21],它主要是长链脂肪酸断裂形成易挥发的小分子化合物^[22]。因此,核桃风味可以作为核桃品质及质量控制依据^[23]。电子鼻检测鲜核桃,在最佳工艺下,低温贮藏过程中核桃仁风味变化的主



图9 最优保鲜工艺下种皮色差变化

Fig. 9 Change of seed coat color difference under optimal preservation technology

成分分析见图10,第一主成分贡献率为64.4%,第二主成分贡献率为25.4%,累积贡献率为89.8%,能够反映样品主要信息。由图10可知,鲜核桃在最佳保鲜工艺条件下,其核桃仁风味变化较小,特别是45~90 d,风味基本无变化,说明本试验最佳工艺符合鲜核桃低温贮藏保鲜工艺要求。

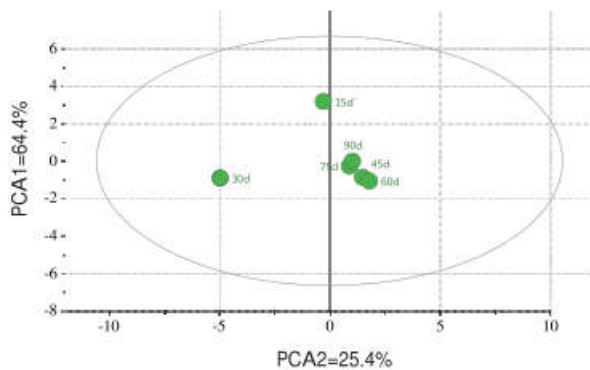


图10 鲜核桃保鲜过程中风味变化分析

Fig. 10 Analysis of flavor changes of fresh walnut during preservation

3 讨论

鲜核桃在保鲜过程中发生腐烂、裂果、褐变等现象与其保鲜工艺有关^[24]。笔者在本研究中发现,在单因素试验中,当1-MCP保鲜剂袋数逐渐增加时,鲜核桃低温贮藏保鲜综合评分呈先上升后下降趋势,这是缘于1-MCP保鲜剂能与乙烯受体结合,在保鲜过程中能够阻断内源性乙烯合成小分子化合物^[25],但是1-MCP保鲜剂不具有抑菌作用,当1-MCP保鲜剂袋数增加到一定数量时,保鲜袋内环境适合细菌生存^[26],其保鲜效果不再增加,鲜核桃青皮出现腐烂,整体保鲜效果出现下降。此研究结果与王进等^[27]的研究结果一致。当PE袋厚度增加时,

鲜核桃低温贮藏保鲜综合评分呈先上升后下降趋势,这是因为PE袋膜的间隙由高分子链热振动随机形成($<1\text{ nm}$),可以作为气体分子(O_2 、 CO_2)透过的通道,但是不作为水分子透过的通道,且PE袋膜的阻水性能十分优异^[28]。当PE袋厚度发生变化时,膜的间隙也发生变化^[29],若膜的间隙过小,PE袋内 O_2 过低 CO_2 过高^[28],湿度过大,鲜核桃青皮易发生腐烂,核桃仁发生水解酸败;若PE袋内 O_2 与 CO_2 适中时,鲜核桃多酚氧化酶活性最低,多酚含量最高,酸价和过氧化值最低^[30],鲜核桃营养流失较少,同时,多酚也发挥一定的抗氧化作用,保鲜效果最佳;若PE袋内 O_2 增多 CO_2 减少,鲜核桃多酚氧化酶活性增强,使多酚类物质氧化为有色醌类物质,从而引起鲜核桃青皮及核桃仁种皮发生褐变^[12,31]。李富军等^[32]也得到同样结论,不同厚度保鲜袋通气性不同是梨在货架期出现腐烂的根本原因;狄建军^[33]研究表明,核桃的酸败方式主要为氧化酸败和水解酸败,其中氧化酸败发生在核桃仁贮藏过程中,而本试验中随着打孔数的增加,鲜核桃低温贮藏保鲜综合评分呈先上升后下降趋势,这与PE袋厚度同理,均是为了调节PE袋内气体成分比例,两者区别是PE袋厚度属于微调,打孔数属于粗调,两者系统性配套结合使保鲜效果达到最优^[34]。经Design-Expert V8.0.6软件多元回归拟合及方差分析,其模型拟合的 p 值小于0.01、失拟项的 p 值大于0.05、模型多元回归方程的拟合系数 $R^2=0.9787$ 、校正决定系数 $R^2_{adj}=0.9514$ 、变异系数 $CV=5.9$,说明本模型拟合度高、试验误差小,可以对鲜核桃低温贮藏保鲜工艺进行优化、分析及预测^[35-36]。本试验鲜核桃低温贮藏保鲜最佳工艺为1-MCP保鲜剂1袋、PE袋厚度 $40\ \mu\text{m}$ 、打孔数1个,理论综合评分为94.48,且鲜核桃在低温贮藏45~90 d内,鲜核桃仁感官的品质级别、品质综合评

价均小于 2 级,且上升不显著($p < 0.05$),风味基本无变化,同时在整个保鲜过程中鲜核桃种皮色差肉眼区分困难,说明此最佳低温贮藏保鲜工艺对鲜核桃保鲜效果甚佳,这是由于 1-MCP 保鲜剂与乙烯受体蛋白结合,阻止乙烯生理作用的发挥,同时减少乙烯释放^[37],且 1-MCP 保鲜剂袋数、PE 袋厚度、打孔数适宜,多酚氧化酶(PPO)、脂氧合酶(LOX)水平较低^[38],有效地抑制了鲜果核桃呼吸,延长了其低温贮藏保鲜时间。

4 结 论

本试验在单因素的基础上,以综合评分作为指标,采用 Box-Behnken Design 响应面法确定鲜核桃(5 kg)低温贮藏保鲜最佳工艺条件为 1-MCP 保鲜剂 1 袋(直接装入 PE 袋)、PE 袋厚度 40 μm 、打孔数 1 个,理论综合评分为 94.48,经保鲜效果评价,低温贮藏 90 d 内,鲜果核桃仁感官品质级别、品质综合评价均小于 2 级,风味基本无变化,表明该工艺确定的鲜果核桃低温贮藏保鲜参数合理可行,采用本研究优化的工艺参数,其鲜核桃保鲜效果佳、品质高,对核桃企业的鲜果保鲜有实际参考价值。

参考文献 References:

- [1] 杜天宇,胡去非,王相媛,白茹雪,赵宝伟,翟梅枝. 核桃坚果主成分分析及优良筛选研究[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版),2018,39(2):34-45.
DU Tianyu, HU Qufei, WANG Xiangyuan, BAI Ruxue, ZHAO Baowei, ZHAI Meizhi. The studies on walnut principal component analysis and superior variety selection[J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition), 2018, 39(2):34-45.
- [2] 陈柏,颜敏华,吴小华,王学喜,景鑫鑫,于江,虎云青,杨中杰. 1-MCP 浓度对‘清香’青皮核桃冷藏期间品质及抗氧化活性的影响[J]. 经济林研究,2019,37(2):73-81.
CHEN Bai, JIE Minhua, WU Xiaohua, WANG Xuexi, JING Xinxin, YU Jiang, HU Yunqing, YANG Zhongjie. Effects of 1-MCP concentration on quality and antioxidant activity of ‘Qingxiang’ green walnut during cold storage[J]. Non-wood Forest Research, 2019, 37(2):73-81.
- [3] 孙媛,张平平,王志永,王娜. 鲜干核桃的营养成分测定及品质评价[J]. 天津农学院学报,2014,21(3):21-24.
SUN Yuan, ZHANG Pingping, WANG Zhiyong, WANG Na. Nutrients determination and quality evaluation of fresh and dry walnuts[J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2014, 21(3):21-24.
- [4] ORHAN I E, SUNTAR I, AKKOL E K. *In vitro* neuroprotective effects of the leaf and fruit extracts of *Juglans regia* L. (walnut) through enzymes linked to Alzheimer’s disease and antioxidant activity[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2011, 62(8):781-786.
- [5] 詹瑾,种培芳,李毅,谢惠敏,张玉洁,周鹏飞. 不同灌水量对核桃苗木叶绿素荧光日变化的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2019,54(6):108-116.
ZHAN Jin, ZHONG Peifang, LI Yi, XIE Huimin, ZHANG Yujie, ZHOU Pengfei. Effects of different irrigation amounts on the diurnal fluctuation of chlorophyll fluorescence in walnut seedling[J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2019, 54(6):108-116.
- [6] CAREY A N, FISHER D R, JOSEPH J A, SHUKITT-HALE B. The ability of walnut extract and fatty acids to protect against the deleterious effects of oxidative stress and inflammation in hippocampal cells[J]. Nutritional Neuroscience, 2013, 16(1):13-20.
- [7] MORACUBILLOS X, TULIPANI S, GARCIAALOY M, BULLO M, TINAHONES F J, ANDRES-LACUEVA C. Plasma metabolomic biomarkers of mixed nuts exposure inversely correlate with severity of metabolic syndrome[J]. Molecular Nutrition and Food Research, 2015, 59(12):2480-2490.
- [8] 李勇鹏,潘莉,宁德鲁,耿树香,张艳丽. 不同处理核桃青果常温保鲜效果的比较[J]. 西部林业科学,2018,47(3):41-44.
LI Yongpeng, PAN Li, NING Delu, GENG Shuxiang, ZHANG Yanli. Effect of different treatments on preservation of fresh walnut fruit at room temperature[J]. Journal of West China Forestry Science, 2018, 47(3):41-44.
- [9] 王炜,李鹏霞,梁丽松,王贵禧,伍玉洁. 不同贮藏温度对核桃脂肪酸氧化的影响[J]. 西北林学院学报,2008(6):159-161.
WANG Wei, LI Pengxia, LIANG Lisong, WANG Guixi, WU Yujie. Effects of storage temperature on fatty acid oxidation of *Juglans Regia*[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2008(6):159-161.
- [10] 陈柏,颜敏华,王学喜,吴小华,张鑫,景鑫鑫. 保鲜剂处理对清香青皮核桃贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工,2020,20(1):41-47.
CHEN Bai, JIE Minhua, WANG Xuexi, WU Xiaohua, ZHANG Xin, JING Xinxin. Effects of different preservatives on storage quality of Qingxiang green walnut fruit[J]. Storage and Process, 2020, 20(1):41-47.
- [11] 李江阔,刘畅,张鹏,刘玲,陈绍慧. 不同浓度 1-MCP 处理对青皮核桃质地和品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2014,40(9):198-203.
LI Jiangkuo, LIU Chang, ZHANG Peng, LIU Ling, CHEN Shaohui. Effect of different concentrations of 1-MCP treatment on quality and texture of green walnuts [J]. Food and Fermentation Industries, 2014, 40(9):198-203.
- [12] 冯文煜,蒋柳庆,马惠玲,马艳萍,朱旭. 不同厚度 PE 膜包装对核桃果实采后生理与鲜贮的效应[J]. 食品科学,2013,34(18):295-300.

- FENG Wenyu, JIANG Liuqing, MA Huiling, MA Yanping, ZHU Xu. Effect of modified atmosphere packaging with different thicknesses of PE films on postharvest physiology and preservation of green walnut fruit[J]. Food Science, 2013, 34(18): 295-300.
- [13] 马惠玲,宋淑亚,马艳萍,刘繁聪,李家政,马昌坤.自发气调包装对核桃青果的保鲜效应[J].农业工程学报,2012,28(2): 262-267.
- MA Huiling, SONG Shuya, MA Yanping, LIU Fancong, LI Jiazheng, MA Changkun. Effects of modified atmosphere package on preservation of green walnut fruit [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(2): 262-267.
- [14] 刘凤云,谢金枝.基于响应面法的微波辅助酶法提取核桃树叶单宁[J].食品研究与开发,2018,39(11):37-42.
- LIU Fengyun, XIE Jinzhi. Microwave-assisted enzyme method extracted walnut leaf tannins based on the response surface methodology[J]. Food Research and Development, 2018, 39(11):37-42.
- [15] 邢文君.响应面法优化板栗核桃酥生产工艺[J].粮食与油脂,2017,30(7):45-47.
- XING Wenjun. Research on production process of Chinese chestnut and walnut crisp by response surface method[J]. Cereals & Oils, 2017, 30(7):45-47.
- [16] 吴伟,崔光华,陆彬.实验设计中多指标的优化:星点设计和总评“归一值”的应用[J].中国药学杂志,2000,35(8):26-29.
- WU Wei, CUI Guanghua, LU Bin. Optimization of multiple evariables: Application of central composite design and overall desirability[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2000, 35(8): 26-29.
- [17] 张文涛,蒋林惠,陈琛,肖红梅,邱良焱.不同气调包装对核桃仁贮藏品质的影响[J].食品科学,2012,33(16):297-301.
- ZHANG Wentao, JIANG Linhui, CHEN Chen, XIAO Hongmei, QIU Liangyan. Effect of different modified atmosphere packaging on storage quality of walnut kernels[J]. Food Science, 2012, 33(16):297-301.
- [18] 王进,马艳萍,陈金海,马惠玲,冯文煜,王典茹.自发气调方式对核桃鲜贮及核桃仁品质的影响[J].现代食品科技,2014,30(3):169-176.
- WANG Jin, MA Yanping, CHEN Jinhai, MA Huiling, FENG Wenyu, WANG Dianru. Effect of modified atmosphere package conditions on preservation of green walnut fruit and kernel traits [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(3): 169-176.
- [19] 张正武,王勃,林云,郭立新,朱建朝,任苗,曹永红.基于电子鼻技术的陇南花椒品种区分[J].经济林研究,2019,37(4):188-193.
- ZHANG Zhengwu, WANG Bo, LIU Yun, GUO Lixin, ZHU Jianchao, REN Miao, CAO Yonghong. Identification of Longnan pepper cultivars based on electronic nose technology[J]. Non-wood Forest Research, 2019, 37(4): 188-193.
- [20] HOSSEINPOUR M N, NAJAFPOUR G D, YOUNESI H, KHORRAMI M, VASEGHI Z. Lipase production in solid state fermentation using aspergillus niger: response surface methodology[J]. International Journal of Engineering, 2012, 25(3): 151-159.
- [21] 石天磊,李晓颖,左波,徐平,张立彬,申艳红.8份核桃资源坚果主要香气物质分析[J].果树学报,2020,37(7):1016-1024.
- SHI Tianlei, LI Xiaoying, ZUO Bo, XU Ping, ZHANG Libin, SHEN Yanhong. Analysis of the main aroma substances in eight walnut accessions[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(7), 1016-1024.
- [22] MARTINEZ M L, MAESTRI D M. Oil chemical variation in walnut (*Juglans regia* L.) genotypes grown in Argentina[J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2008, 110(12): 1183-1189.
- [23] 王勇. HS-SPME-GC-MS 结合 ROAV 法对市售核桃油香气成分的研究[J].粮食与油脂,2020,33(6):63-66.
- WANG Yong. Analysis of aroma component in commercial walnut oil by HS-SPME-GC-MS combined ROAV method[J]. Cereals & Oils, 2020, 33(6): 63-66.
- [24] 曹森,王瑞,赵成飞,马超,吉宁,谢国芳.青皮核桃采后生理及贮藏保鲜技术研究进展[J].保鲜与加工,2017,17(1):117-121.
- CAO Sen, WANG Rui, ZHAO Chengfei, MA Chao, JI Ning, XIE Guofang. Advances of research on postharvest physiology and preservation technology of green walnut[J]. Storage and Process, 2017, 17(1): 117-121.
- [25] BERNARDINO M A, CASTILLO-ISRAEL K A T, SERRANO E P, GANDIA J, ABSULIO W L. Efficacy of 1-methylcyclopropane (1-MCP) post-cutting treatment on the storage quality of fresh-cut 'Queen' pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr. cv. 'Queen') [J]. International Food Research Journal, 2016, 23(2): 667-674.
- [26] 陈冠澎. 1-MCP 结合 ClO₂ 缓释剂对鲜切西兰花贮藏效果影响 [D]. 沈阳:沈阳农业大学,2020.
- CHEN Guanpeng. Effect of 1-MCP and ClO₂ sustained-release agent on fresh-cut broccoli storage [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2020.
- [27] 王进,蒋柳庆,马惠玲,周晶,杨哲. ClO₂ 和 1-MCP 对青皮核桃二步贮藏的效应[J].中国食品学报,2015,15(3):137-145.
- WANG Jin, JIANG Liuqing, MA Huiling, ZHOU Jing, YANG Zhe. Effect of ClO₂ and 1-MCP on preservation of green fruit and peeled walnut in two-step storage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2015, 15(3): 137-145.
- [28] 王震,何家鹏,湛凯,肖凯军,徐荣雄,朱良. SPEEK/PE 复合膜的制备及其贮藏生菜的研究[J].现代食品科技,2020,36(10):1-8.
- WANG Zhen, HE Jiapeng, ZHAN Kai, XIAO Kaijun, XU Rongxiang, ZHU Liang. Preparation of SPEEK/PE composite membrane and application in lettuce preservation[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(10): 1-8.
- [29] JHA A, KUMAR A, JAIN P, GAUTAM A K, RASANE P. Ef-

- fect of modified atmosphere packaging on the shelf life of lalpeda[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 52(2): 1068-1074.
- [30] 李晴, 刘丹, 马艳萍, 寇莉萍, 贾彩霞. MA 包装对鲜食核桃冷藏期货架品质及内源激素的影响[J]. *北方园艺*, 2015(4): 123-128.
- LI Qing, LIU Dan, MA Yanping, KOU Liping, JIA Caixia. Effect of different modified atmosphere packages on shelf-life quality and endogenous hormones content of fresh walnuts[J]. *Northern Horticulture*, 2015(4): 123-128.
- [31] 吉宁, 王瑞, 曹森, 马立志. 1-MCP 结合臭氧处理对水晶葡萄采后贮藏品质的影响[J]. *包装工程*, 2021, 42(9): 56-63.
- JI Ning, WANG Rui, CAO Sen, MA Lizhi. Effect of 1-MCP combined with ozone treatment on postharvest storage quality of crystal grape [J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(9): 56-63.
- [32] 李富军, 张新华, 孙希生, 刘禄强. 包装厚度对长把梨货架期间 CO₂ 伤害的影响[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(2): 290-293.
- LI Fujun, ZHANG Xinhua, SUN Xisheng, LIU Luqiang. Effects of different packaging thickness on carbon dioxide injury to pears (*Pyrus bretschneideri* Rehd. cv. Changba) during shelf life [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2009, 25(2): 290-293.
- [33] 狄建军. 涂膜抑制核桃哈败的研究[D]. 太谷: 山西农业大学, 2005.
- DI Jianjun. Study on inhibiting of coating to walnut rancidity [D]. Taigu: Shanxi Agricultural University, 2005.
- [34] 李杰, 孙雁霞, 罗建勋. 四川鲜食核桃贮藏保鲜与品质评价研究进展[J]. *农产品加工*, 2017(19): 61-63.
- LI Jie, SUN Yanxia, LUO Jianxun. Research progress on storage and quality evaluation of fresh walnut in Sichuan[J]. *Farm Products Processing*, 2017(19): 61-63.
- [35] 陆胜波, 陈静, 张文娥, 潘学军. 遮光对铁核桃青皮多酚物质及相关酶活性和基因表达的影响[J]. *植物生理学报*, 2020, 56(6): 1231-1242.
- LU Shengbo, CHEN Jing, ZHANG Wen'e, PAN Xuejun. Effect of shading on polyphenols, related enzyme activity and gene expression in green husk of *Juglans sigillata*[J]. *Plant Physiology Journal*, 2020, 56(6): 1231-1242.
- [36] 张百刚, 邵琳, 杨高维, 鹿琪坤, 苏凤贤. 响应面法优化酱油肉复合保鲜剂配方[J]. *肉类研究*, 2019, 33(12): 32-38.
- ZHANG Baigang, SHAO Lin, YANG Gaoji, LU Qikun, SU Fengxian. Formulation optimization of composite preservative for soy sauce-marinated meat by response surface methodology [J]. *Meat Research*, 2019, 33(12): 32-38.
- [37] 鞠雪莉, 谭海生, 杨劲松, 郭海阳, 史一珂, 仵云学. 响应面法优化针叶樱桃黄酒的发酵工艺[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(5): 987-994.
- JU Xueli, TAN Haisheng, YANG Jinsong, GUO Haiyang, SHI Yike, WU Yunxue. Optimization of fermentation technology for yellow wine from acerola cherry and rice by response surface methodology[J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(5): 987-994.
- [38] 郭园园, 鲁晓翔, 李江阔, 陈绍慧, 张鹏, 李博强. 1-MCP 处理复合薄膜包装对青皮鲜核桃采后品质的影响[J]. *食品科学*, 2014, 35(10): 252-257.
- GUO Yuanyuan, LU Xiaoxiang, LI Jiangkuo, CHEN Shaohui, ZHANG Peng, LI Boqiang. Effects of 1-MCP and film packaging treatments on postharvest quality of green walnuts[J]. *Food Science*, 2014, 35(10): 252-257.