

速冻乌龙头芽加工工艺优化及品质分析

康三江, 张海燕, 宋娟

Processing Technology Optimization and Quality Analysis of Frozen *Aralia chinensis* L. Bud

KANG Sanjiang, ZHANG Haiyan, and SONG Juan

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021040328>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

响应面法优化马铃薯素食肠加工

Optimization of processing of potato vegetarian sausage by response surface method

食品工业科技. 2018, 39(3): 131-135,142

不同加工工艺西湖龙井茶品质差异特性分析

Difference Quality Characteristics of Xihu Longjing Tea with Different Processing Technology

食品工业科技. 2021, 42(13): 268-273

青麦仁面条工艺优化及品质研究

Processing optimization and quality research of green wheat noodles

食品工业科技. 2017(07): 262-268

中短波红外干燥白果的色泽变化预测及品质研究

Color Prediction and Quality Analysis of *Ginkgo biloba* Seeds under Medium and Short Wave Infrared Drying

食品工业科技. 2020, 41(12): 269-274,280

蒙顶黄芽不同加工工序中色泽变化与品质相关性研究

Study on the Correlation between Color Change and Quality of Mengding Yellow Bud by Different Processing Procedure

食品工业科技. 2021, 42(13): 111-117

不同工艺不同品种坦洋工夫红茶品质的比较

Comparison of Quality of Different Technology and Varieties of Panyong congou Black Tea

食品工业科技. 2018, 39(19): 27-33,39



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

康三江, 张海燕, 宋娟. 速冻乌龙头芽加工工艺优化及品质分析 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(1): 220-227. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040328

KANG Sanjiang, ZHANG Haiyan, SONG Juan. Processing Technology Optimization and Quality Analysis of Frozen *Aralia chinensis* L. Bud[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(1): 220-227. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040328

速冻乌龙头芽加工工艺优化及品质分析

康三江, 张海燕, 宋娟

(甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 甘肃省果蔬贮藏加工技术创新中心, 甘肃兰州 730070)

摘要: 为了优化速冻乌龙头芽加工工艺, 通过单因素实验考察了漂烫液 pH、漂烫时间、速冻温度对速冻乌龙头芽解冻后色泽 (ΔE 值) 和汁液流失率的影响, 同时采用响应面分析法 (Response Surface Methodology, RSM) 优化速冻乌龙头芽加工工艺。结果表明: 各因素对 ΔE 值和汁液流失率的影响程度由大到小依次均为漂烫液 pH>漂烫时间>速冻温度, 优化出最佳工艺条件为: 漂烫液 pH7.50, 漂烫时间 4.00 min, 速冻温度 -30.00 °C, 在该条件下得到速冻乌龙头芽的 ΔE 值为 22.58, 汁液流失率为 21.94%, 与模型预测值相比相对误差分别为 0.58% 和 1.14%, 与预测值相近, 且产品品质符合相关标准 NY/T1406-2018《绿色食品 速冻蔬菜》的要求。该研究为乌龙头芽速冻加工及开发利用提供一定的理论依据。

关键词: 速冻乌龙头芽, 响应面法, 加工工艺, 色泽, 汁液流失率, 品质

中图分类号: TS255

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)01-0220-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021040328

本文网刊:



Processing Technology Optimization and Quality Analysis of Frozen *Aralia chinensis* L. Bud

KANG Sanjiang, ZHANG Haiyan, SONG Juan

(Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Science, Innovative Center for Storage and Processing Technology of Fruits and Vegetables in Gansu, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to optimize the processing technology of frozen *Aralia chinensis* L. bud, the effects of blanching solution pH, blanching time and frozen temperature on the color (ΔE value) and drip loss were investigated by single factor experiments, and the processing technology was optimized by response surface methodology (RSM). The results showed that the influence degree of each factor on ΔE value and drip loss from large to small was blanching solution pH>blanching time>frozen temperature. The optimal process conditions were as follows: Blanching solution pH7.50, blanching time 4.00 min, and frozen temperature -30.00 °C. Under these conditions, the ΔE value was 22.58, and the drip loss rate was 21.94%. The relative errors were 0.58% and 1.14%, respectively, which was close to the predicted value, and the product qualities were conformed the requirements of No.NY/T1406-2018 Green food-quick frozen vegetable. This study would provide both theoretical and utilization for frozen processing of *Aralia chinensis* L. bud.

Key words: frozen *Aralia chinensis* L. bud; response surface method; processing technology; color; drip loss; quality

乌龙头 (*Aralia chinensis* L.), 学名楸木, 为五加科楸木属多年生落叶小乔木。乌龙头是陇东南地区对其的俗称, 又称刺嫩芽、刺龙芽、树头菜、乌不宿等^[1]。乌龙头全身是宝, 可食, 可入药, 味苦, 性平, 具有活血化瘀、补气安神、强精滋肾、除湿止痛之功效; 乌龙头营养丰富, 嫩芽中含有碳水化合物、氨基酸、矿物质、维生素、蛋白质、脂肪、粗纤维等营养物质及皂苷、多糖、多酚等多种活性成分, 其中含有 9 种人体

所必需的氨基酸; 口感独特、野味浓郁, 素有“山野菜之王”的美誉^[2-3]。因此, 基于其在医疗保健、营养价值、风味口感以及丰富食品多样性等方面的特殊性, 乌龙头在国内外市场上深受消费者的欢迎, 具有广阔的发展前景, 在促进农民增收、生态保护、带动经济发展等方面也有重大意义。但由于乌龙头嫩芽采收季节性强、采收时间短 (15 d 左右), 嫩芽长大后会失去食用价值; 采摘后不耐贮运, 容易出现失水失绿

收稿日期: 2021-05-06

基金项目: 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-27); 甘肃省农业农村厅科技计划项目 (GNKJ-2018-9)。

作者简介: 康三江 (1977-), 男, 本科, 研究员, 研究方向: 果蔬加工, E-mail: kang58503@163.com。

和新鲜产品积压等现象^[4],严重影响了乌龙头的产业化发展。速冻加工可使产品在短时间内形成极小的冰晶,最大限度地减少细胞组织的损伤,降低果蔬中游离水和酶的活性,抑制微生物的生长,能够长期有效地保持果蔬固有风味和新鲜度,在果蔬保鲜加工领域得到广泛的应用^[5-6]。除腌制、干制和罐藏等多种可保持其营养成分和色、香、味、形的传统乌龙头芽加工产品外^[7],压差膨化酥脆食品和软枣猕猴桃-龙牙楸木混合汁饮料等新产品的研发^[8-9],为乌龙头芽的多元化加工提供了新的思路,但有关速冻乌龙头芽的相关研究尚未见报道。

色泽和汁液流失率是速冻果蔬极其重要的品质评价指标,色泽直接影响消费者对产品的接受程度,汁液流失率反映了产品风味和营养品质的保持情况,不当的漂烫、速冻、冻藏等工艺技术和加工条件易破坏速冻果蔬的细胞组织而导致其色泽劣变和汁液流失^[10-11],因而优化速冻乌龙头芽加工工艺显得尤为重要。因此,本研究考察漂烫液 pH、漂烫时间、速冻温度等影响速冻乌龙头芽产品品质的主要因素,以色泽和汁液流失率为评价指标,采用响应面法优化速冻乌龙头芽加工关键技术参数,旨在研发出能较好保持乌龙头芽的天然成分和鲜嫩口感的方法,为乌龙头芽的综合开发利用和产业化生产提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

乌龙头 采自甘肃省天水市张家川,4月末到5月上中旬,芽体未展叶之前,采集 6~13 cm 长的紫红色子弹头状的嫩芽,人工采摘,选择无病虫害、无腐烂、大小均一、色泽均匀、成熟度一致的乌龙头嫩芽;氯化钠、碳酸氢钠 食品级,浙江巨化新联化工有限公司;乙醇、丙酮、聚乙烯吡咯烷酮、邻苯二酚、多聚半乳糖醛酸、3,5-二硝基水杨酸等 分析纯,中瑞化学试剂公司。

HPP.L1-600MPa/5 超高压设备型 天津华泰森森有限公司;UV-1100 型紫外可见分光光度计 上海凌析达仪器有限公司;MIRCOCL 17R 离心机 赛默飞世尔科技(中国)有限公司;超低温冰箱 青岛海尔集团;CT3 质构仪 美国博勒飞公司;CR-400 型色差计 日本柯尼卡公司。

1.2 实验方法

1.2.1 速冻乌龙头加工工艺 新鲜乌龙头嫩芽用自来水清洗、吸干水分后放入由水、4.0 g/L 碳酸氢钠和 2.0 g/L 氯化钠按 500:2:1 的比例组成的漂烫液中,在设置好的 pH(以 2.0 g/L 或 1.0 g/L 的柠檬酸溶液和 1.5 g/L 或 1.1 g/L 的氢氧化钠溶液调节 pH)下,沸水漂烫一定时间,捞出吸干表面水分后在不同温度下于速冻库中快速冻结至样品中心温度 -20~-18 ℃,得到无结块、无冰晶、无霜,呈单体状的速冻乌龙头,以不经漂烫的乌龙头嫩芽作为对照,清洗吸干水分后在 -30 ℃ 下速冻至中心温度 -20~

-18 ℃,预包装室温 <15 ℃,用铝箔袋密封包装(200 g/袋),在 -18 ℃ 冷冻库中冻藏 6 个月,微波解冻(600 MHz, 3 min)至中心温度达到 -5 ℃(以刀能切断为准)时,测定各项指标。

1.2.2 单因素实验 分别考察当漂烫时间 4 min,速冻温度 -30 ℃ 时,不同漂烫液 pH(5.0、6.0、7.0、8.0、9.0)对速冻乌龙头芽冻藏过程中色泽和汁液流失率的影响;漂烫液 pH 7.0,速冻温度 -30 ℃ 时,漂烫时间(2、3、4、5、6 min)对速冻乌龙头芽冻藏过程中色泽和汁液流失率的影响;漂烫时间 4 min,漂烫液 pH 7.0 时,速冻温度(-20、-25、-30、-35、-40 ℃)对速冻乌龙头芽冻藏过程中色泽和汁液流失率的影响;实验重复 3 次,每 30 d 取一次样,取样 180 d。

1.2.3 响应面试验 采用 Box-Behnken 模型试验设计^[12-13],选取漂烫液 pH、漂烫时间、速冻温度为自变量,以 X_1 、 X_2 、 X_3 表示,并以 1、0、-1 分别代表自变量的高、中、低水平,以速冻乌龙头解冻后的色泽(Y_1)和汁液流失率(Y_2)为响应值,进行 3 因素 3 水平响应面分析,优化速冻乌龙头芽加工工艺条件,响应面试验因素水平编码见表 1,试验重复 3 次,冻藏 180 d 时取样测定各项指标。

表 1 响应面实验的因素水平编码
Table 1 Factors and levels coding of response surface experiment

因素	水平		
	-1	0	1
X_1 漂烫液 pH	6.0	7.0	8.0
X_2 漂烫时间(min)	3	4	5
X_3 速冻温度(℃)	-35	-30	-25

1.2.4 测定项目及方法

1.2.4.1 色泽(ΔE 值)测定 采用色差计法测定^[14],采用亨特均匀表色系统测定 L 、 a 、 b 值,其中 L 表示白度, a 值表示色泽红/绿, b 值表示黄/蓝,计算公式 $\Delta E^2 = (L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2$,带 0 的字母表示空白值, ΔE 值越小代表色泽褐变度越小,与原料色泽越接近,样品要求切分为薄厚均匀、大小一致的片状,每个样品重复测定 5 次,取平均值。

1.2.4.2 汁液流失率的测定 样品解冻前的重量为 W_1 ,解冻后将包装袋中解冻流失的汁液倒掉,用吸水纸吸干样品表面的汁液,重量为 W_2 ,汁液流失率的计算公式如下^[15]:

$$\text{汁液流失率}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

1.2.4.3 品质检测 根据 NY/T1406-2018《绿色食品速冻蔬菜》^[16]的要求,由甘肃国信润达分析测试中心对速冻乌龙头芽产品的感官品质及污染物限量做出检测判定。

1.3 数据处理

每组实验重复 3 次,实验数据采用 Excel 2010、

SPSS22.0 数据分析软件进行分析处理及作图, Box-Behnken 设计采用 Design Expert 8.0.6 软件并进行响应面分析, 实验结果以“平均值 $\pm$ 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 速冻乌龙头芽加工工艺单因素实验

2.1.1 漂烫液 pH 对速冻乌龙头芽色泽和汁液流失率的影响 由图 1 可知, 不同 pH 下漂烫的速冻乌龙头芽的 ΔE 值和汁液流失率随着冻藏时间的延长均逐渐升高, 这可能是由于冻藏期间温湿度的波动导致重结晶形成大的冰晶体, 增大了组织细胞的机械损伤, 引起产品品质下降所致, 与张海燕^[17]的研究结果相似。但不同 pH 下 ΔE 值和汁液流失率的升高趋势是不同的, 对照组和 pH9.0 的 ΔE 值在整个冻藏期内迅速升高, 冻藏 180 d 时分别为 68.33 和 63.00, 其它 pH 组在冻藏前 60 d 时变化均较平缓, 随后 pH5.0 和 pH6.0 的变化较为迅速, 而 pH7.0 和 pH8.0 的在整个冻藏期间变化均较为平缓, 且保持在较低水平, 冻藏 180 d 时的 ΔE 值分别为 34.50 和 38.45; 冻藏前 120 d 各处理的汁液流失率均低于对照组, 之后 pH5.0 和 pH9.0 的汁液流失率逐渐升高并高于对照, 冻藏结束时分别为 46.00% 和 48.38%, pH7.0 和 pH8.0 的汁液流失率在冻藏期间的变化相对较平缓, 且 pH7.0 的一直保持在较低水平, 冻藏 180 d 时为 24.50%。这可能是由于过酸的漂烫条件破坏了乌龙头芽中游离叶绿素和类囊体膜中的叶绿素蛋白复合体, 使叶绿素在高浓度氢离子环境下迅速脱镁降解, 从而产品的色泽发生劣变, 同时破坏了细胞膜的结

构, 细胞膜剥离细胞体, 细胞间间隙增加, 产品持水性下降, 汁液流失升高^[18]; 但是 pH 过高容易造成细胞组织软化损伤, 使其在损失可溶性固形物、无机盐类、维生素等营养价值的同时引起色泽下降和汁液流失率升高^[19]。因此, 在速冻乌龙头芽的加工中, 选择漂烫液 pH6.0~pH8.0 的范围进行后续工艺优化试验。

2.1.2 漂烫时间对速冻乌龙头芽色泽和汁液流失率的影响 速冻前漂烫可以抑制多酚氧化酶、叶绿素酶、过氧化物酶等的活性, 还可以使果蔬组织变软, 增加细胞速冻膨胀的耐受性^[20-21], 因此, 适度漂烫是稳定速冻产品色泽、质地、风味和营养等品质的重要手段之一^[22-23]。

由图 2 可以看出, 冻藏期间速冻乌龙头芽的 ΔE 值和汁液流失率均呈现逐渐升高趋势, 但不同漂烫时间对其的影响是不同的, 对照组和漂烫 6 min 的 ΔE 值随冻藏时间的增加而迅速升高, 冻藏结束时分别为 68.33 和 58.32, 漂烫 3~5 min 的 ΔE 值在冻藏前 60 d 内的变化幅度不大, 60 d 分别升高了 8.84%、8.47% 和 18.09%, 其中, 漂烫 4 min 的 ΔE 值在整个冻藏期间变化较平缓, 冻藏结束时 ΔE 值为 32.58, 升高了 44.47%; 对照组、漂烫 5 min 和 6 min 的汁液流失率随冻藏时间的延长而迅速升高, 冻藏结束分别升高至 52.38%、45.39% 和 49.26%, 漂烫 2~4 min 的汁液流失率在冻藏前 60 d 分别升高至 13.12%、10.07% 和 12.39%, 变化幅度不大, 之后逐渐升高, 其中漂烫 4 min 的汁液流失变化相对平缓, 冻藏 180 d 时仅为 26.11%。这可能是由于不漂烫或漂烫时间过短, 速冻乌龙头芽中多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶

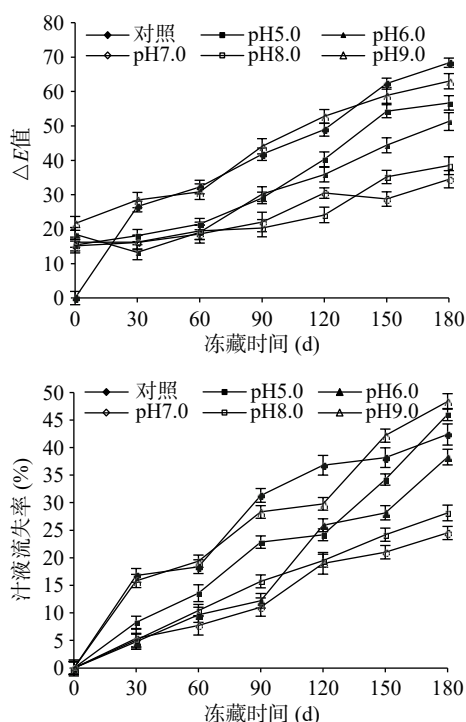


图 1 pH 对速冻乌龙头芽色泽和汁液流失率的影响

Fig.1 Effect of pH on the color and drip loss of frozen *Aralia chinensis* L. bud

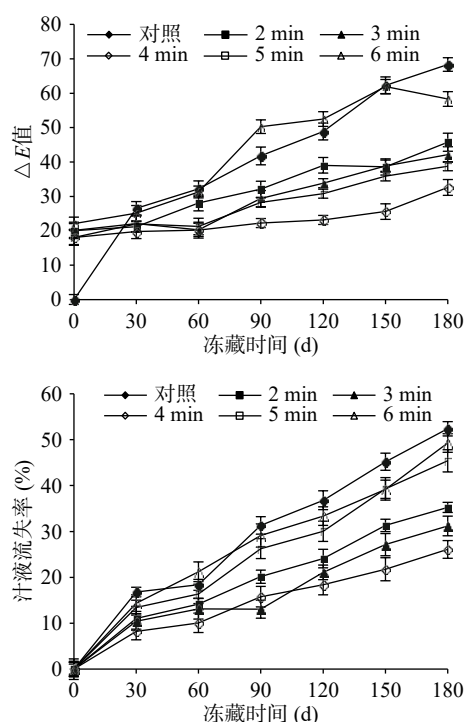


图 2 漂烫时间对速冻乌龙头芽色泽和汁液流失率的影响

Fig.2 Effect of blanching time on the color and drip loss of frozen *Aralia chinensis* L. bud

(POD)等相关酶未被彻底灭活而引起品质劣变,发生酶促褐变促使产品色泽下降;而漂烫时间过长,破坏了组织细胞结构的完整性,细胞内的有机酸释放,大范围与叶绿素接触,反应生成脱镁叶绿素,致使产品发生褐变,且细胞内的水分流出,汁液流失率升高^[24-25]。因此,选择漂烫时间 3~5 min 的范围进行后续工艺优化试验。

2.1.3 速冻温度对速冻乌龙头芽色泽和汁液流失率的影响 冻结温度越低,冻结速率越高。冻结速率通过影响冻结过程中冰晶的大小、形态以及在组织细胞内的分布而影响速冻产品的品质^[26]。

如图 3 所示,速冻乌龙头芽 ΔE 值和汁液流失率随冻藏时间的延长呈逐渐升高趋势,但冻结温度不同,二者的变化趋势有所不同,对照组的 ΔE 值在冻藏期间增长速度较快且均高于其他不同温度速冻组,冻藏 180 d 时为 70.33,冻藏前 60 d 各样品的 ΔE 值变化差异不大,之后 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的升高幅度较大,冻藏 180 d 时达到 65.83 和 54.29, $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的次之, $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的在整个冻藏期间变化较为平缓,冻藏 180 d 时的 ΔE 值为 35.45,升高 33.00%;冻藏结束时,各样品汁液流失率从高到低依次为:对照组 $>-40\text{ }^{\circ}\text{C}>-20\text{ }^{\circ}\text{C}>-25\text{ }^{\circ}\text{C}>-35\text{ }^{\circ}\text{C}>-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。其中对照组和 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的速冻乌龙头芽的汁液流失率上升较快,冻藏 180 d 时高达 48.38% 和 45.37%,而 $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 处理组除冻藏 90 d 外,汁液流失率均最低,且变化较为平缓,冻藏 180 d 时汁液流失率为 23.26%。这可能是因为速冻温度过高,冻结速率较慢,冰晶形成的速度缓慢且大冰晶数量较多,在细胞内外分布不均

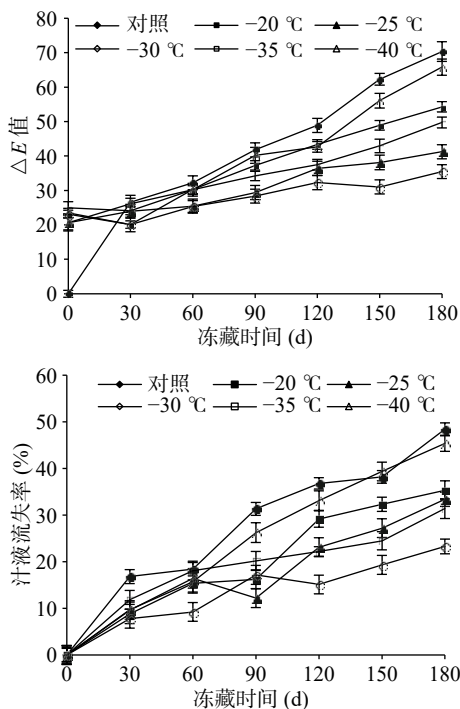


图 3 速冻温度对速冻乌龙头芽色泽和汁液流失率的影响
Fig.3 Effect of different frozen temperature on the color and drip loss of frozen *Aralia chinensis* L. bud

匀,加剧了细胞的机械损伤,导致细胞水分外渗,部分叶绿素等色素物质的损失,使解冻后速冻乌龙的色泽和持水能力下降^[27];速冻温度较低时,冰晶分布与原料中液态水分布相近,细胞内外渗透压降低,同时形成较小且分布均匀的冰晶,对细胞组织结构损伤很小,能较好的保持果蔬原有的色泽,口感、风味及营养价值^[28],但速冻温度过低,会引起果蔬的宏观龟裂和微观结构的破坏,造成果蔬质地下降、色泽褐变、风味及营养物质流失等不良后果,这与张海燕等^[29]在速冻苹果中的研究结果一致。因此,选择速冻温度 $-35\sim-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行后续工艺优化试验。

2.2 速冻乌龙头芽加工工艺响应面优化试验结果

2.2.1 响应面试验设计及结果 在单因素实验的基础上,选择漂烫液 pH、漂烫时间、速冻温度为影响因素,以 ΔE 值和汁液流失率为响应值,对速冻乌龙头芽加工工艺条件进行 3 因素 3 水平的响应面分析,试验设计及结果见表 2。

表 2 响应面试验设计与结果					
Table 2 Design and results of the response surface experiments					
试验号	X ₁ 漂烫液 pH	X ₂ 漂烫时间	X ₃ 速冻温度	Y ₁ ΔE 值	Y ₂ 汁液流失率(%)
1	0	0	0	25.18 $\pm$ 1.97	20.86 $\pm$ 1.13
2	0	0	0	23.32 $\pm$ 1.82	21.02 $\pm$ 1.05
3	0	0	0	25.66 $\pm$ 1.63	20.58 $\pm$ 1.21
4	1	1	0	68.58 $\pm$ 1.69	66.56 $\pm$ 1.89
5	0	-1	-1	62.23 $\pm$ 2.10	55.45 $\pm$ 2.04
6	0	-1	1	49.44 $\pm$ 2.59	48.63 $\pm$ 1.86
7	1	0	1	76.13 $\pm$ 1.87	70.69 $\pm$ 1.58
8	-1	-1	0	53.62 $\pm$ 1.56	40.16 $\pm$ 1.47
9	0	0	0	20.35 $\pm$ 2.05	25.79 $\pm$ 2.59
10	0	1	-1	53.69 $\pm$ 1.25	50.14 $\pm$ 1.24
11	0	0	0	20.16 $\pm$ 2.20	25.46 $\pm$ 1.44
12	-1	0	-1	59.33 $\pm$ 2.15	50.66 $\pm$ 2.01
13	1	-1	0	80.41 $\pm$ 1.87	59.38 $\pm$ 1.35
14	0	1	1	76.88 $\pm$ 1.59	72.37 $\pm$ 2.15
15	-1	0	1	48.15 $\pm$ 2.09	43.15 $\pm$ 1.10
16	1	0	-1	45.33 $\pm$ 2.08	44.33 $\pm$ 1.69
17	-1	1	0	77.15 $\pm$ 1.67	60.12 $\pm$ 2.24

2.2.2 回归模型建立与方差分析 利用 Design-Expert 8.0 数据分析软件对表 2 中试验数据进行多元回归分析,得到 ΔE 值(Y_1)和汁液流失率(Y_2)对自变量漂烫液 pH(X_1)、漂烫时间(X_2)、速冻温度(X_3)的二次多项回归模型方程分别为:

$$Y_1=22.93+4.03X_1+3.80X_2+3.78X_3-8.84X_1X_2+1050X_1X_3+8.95X_2X_3+21.82X_1^2+25.19X_2^2+12.49X_3^2$$
$$Y_2=22.74+5.86X_1+5.70X_2+4.28X_3-3.20X_1X_2+8.47X_1X_3+7.26X_2X_3+14.69X_1^2+19.13X_2^2+14.78X_3^2$$

如表 3 所示,一次项的偏回归系数绝对值 $X_1>X_2>X_3$,说明各因素对速冻乌龙头芽 ΔE 值(Y_1)的影响依次为漂烫液 pH(X_1)>漂烫时间(X_2)>速冻温度(X_3)。对 ΔE 值的回归模型进行方差分析结果 $P<0.0001$ ($P<0.01$),表明回归模型差异极显著,失拟项 P 值为 0.5091,无显著性影响($P>0.05$),表明该模

型对速冻乌龙头芽加工工艺优化试验拟合程度较好,可用该回归方程代替试验真实点对实验结果进行分析,回归方程的决定系数 $R^2=0.9938$,表明测量值和预测值之间吻合度较高,校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.9859$,说明速冻乌龙头芽加工工艺有 98.59% 的程度受漂烫液 pH、漂烫时间、速冻温度等因素的影响,设计的预测值和试验值相近,准确率高,变异系数 CV 值为 5.01,反映了模型的可信度,显示试验稳定性较好。表 3 中的显著性分析结果表明, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_1X_2 、 X_1X_3 、 X_2X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 对速冻乌龙头芽 ΔE 值的影响均达到了极显著水平($P<0.01$)。因此,该模型可对速冻乌龙头芽加工工艺优化试验研究进行分析预测。

表 3 ΔE 值回归模型方差分析表Table 3 Variance analysis of regression model on ΔE value

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	7330.72	9	814.52	125.20	<0.0001	**
X_1	129.61	1	129.61	19.92	0.0029	**
X_2	115.52	1	115.52	17.76	0.0040	**
X_3	114.16	1	114.16	17.55	0.0041	**
X_1X_2	312.58	1	312.58	48.05	0.0002	**
X_1X_3	440.58	1	440.58	67.72	<0.0001	**
X_2X_3	320.05	1	320.05	49.20	0.0002	**
X_1^2	2003.86	1	2003.86	308.02	<0.0001	**
X_2^2	2671.84	1	2671.84	410.70	<0.0001	**
X_3^2	656.37	1	656.37	100.89	<0.0001	**
残差	45.54	7	6.51			
失拟项	18.54	3	6.18	0.92	0.5091	不显著
纯误差	27.00	4	6.75			
总值	7376.26	16				

注: *表示影响显著($P<0.05$), **表示影响极显著($P<0.01$), 表 4 同。

如表 4 所示,一次项的偏回归系数绝对值 $X_1>X_2>X_3$,说明各因素对速冻乌龙头芽汁液流失率(Y_2)的影响依次为漂烫液 pH(X_1)>漂烫时间(X_2)>速冻温度(X_3)。对汁液流失率的回归模型进行方差分析结果 $P<0.0001$ ($P<0.01$),表明回归模型差异极显著,失拟项 P 值为 0.6266,无显著性影响($P>0.05$),表明该模型对速冻乌龙头芽加工工艺优化试验拟合程度较好,可用该回归方程代替试验真实点对实验结果进行分析,回归方程的决定系数 $R^2=0.9918$,表明测量值和预测值之间吻合度较高,校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.9812$,说明速冻乌龙头芽加工工艺有 98.12% 的程度受漂烫液 pH、漂烫时间、速冻温度等因素的影响,设计的预测值和试验值相近,准确率高,变异系数 CV 值为 5.33,反映了模型的可信度,显示试验稳定性较好。表 4 中的显著性分析结果表明, X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_1X_3 、 X_2X_3 、 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 对速冻乌龙头芽汁液流失率的影响均达到了极显著水平($P<0.01$), X_1X_2 达到了显著水平($P<0.05$)。因此,该模型可对速冻乌龙头芽加工工艺优化试验研究进行分析预测。

表 4 汁液流失率回归模型方差分析

Table 4 Variance analysis of regression model on drip loss

变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	4974.81	9	552.76	93.69	<0.0001	**
X_1	274.60	1	274.60	46.55	0.0002	**
X_2	259.58	1	259.58	44.00	0.0003	**
X_3	146.72	1	146.72	24.87	0.0016	**
X_1X_2	40.83	1	40.83	6.92	0.0339	*
X_1X_3	286.79	1	286.79	48.61	0.0002	**
X_2X_3	210.98	1	210.98	35.76	0.0006	**
X_1^2	908.18	1	908.18	153.94	<0.0001	**
X_2^2	1540.31	1	1540.31	261.09	<0.0001	**
X_3^2	919.66	1	919.66	155.89	<0.0001	**
残差	41.30	7	5.90			
失拟项	13.44	3	4.48	0.88	0.6266	不显著
纯误差	27.86	4	6.96			
总值	5016.11	16				

2.2.3 响应面图分析及参数优化 根据回归方程绘制响应值与漂烫液 pH、漂烫时间、速冻温度等 3 个因素的响应面图,直观地反映了各因素交互作用对响应值的影响程度,当响应面的坡度较平缓,表明响应值受该因素的影响不明显;相反响应面的坡度较陡峭,表明响应值受该因素影响作用较大^[30]。由图 4 可以看出,在试验考察范围内,随着漂烫液 pH 的升高、漂烫时间的延长以及速冻温度的升高,速冻乌龙头芽 ΔE 值和汁液流失率均呈现先降低后升高的趋势;漂烫液 pH 的响应面坡度大于漂烫时间和速冻温度的曲面变化幅度,漂烫时间的响应面坡度大于速冻温度的曲面变化幅度,说明各因素对速冻乌龙头芽 ΔE 值和汁液流失率的影响由大到小依次为:漂烫液 pH(X_1)>漂烫时间(X_2)>速冻温度(X_3),验证了方差分析结果。

通过 Design-Expert 8.0 软件进行预测分析,确定速冻乌龙头芽对 ΔE 值的回归模型的最佳加工工艺条件为:漂烫液 pH7.59,漂烫时间 4.13 min,速冻温度-30.26 °C,对汁液流失率的最佳加工工艺条件为:漂烫液 pH7.47,漂烫时间 3.89 min,速冻温度-30.37 °C,上述条件下, ΔE 值和汁液流失率的预测值分别为 22.45 分和 21.69%。结合实际情况,将工艺调整为漂烫液 pH7.50,漂烫时间 4.00 min,速冻温度-30.00 °C,并为了确保所建回归模型的准确性,在此条件下进行验证,试验重复 3 次,冻藏 60 d 时实际所得到的速冻乌龙头芽的 ΔE 值平均值为(22.58±1.69),汁液流失率为(21.94%±2.10%),与模型预测值的相对误差较小,分别为 0.58% 和 1.14%,说明该模型准确可靠。

2.3 速冻乌龙头芽品质检测

根据 NY/T1406-2018《绿色食品速冻蔬菜》的要求,对速冻乌龙头的感官品质和污染物限量委托甘肃国信润达分析测试中心进行检验,结果如表 5 所示,按照优化出的工艺参数加工的速冻乌龙头芽产品感

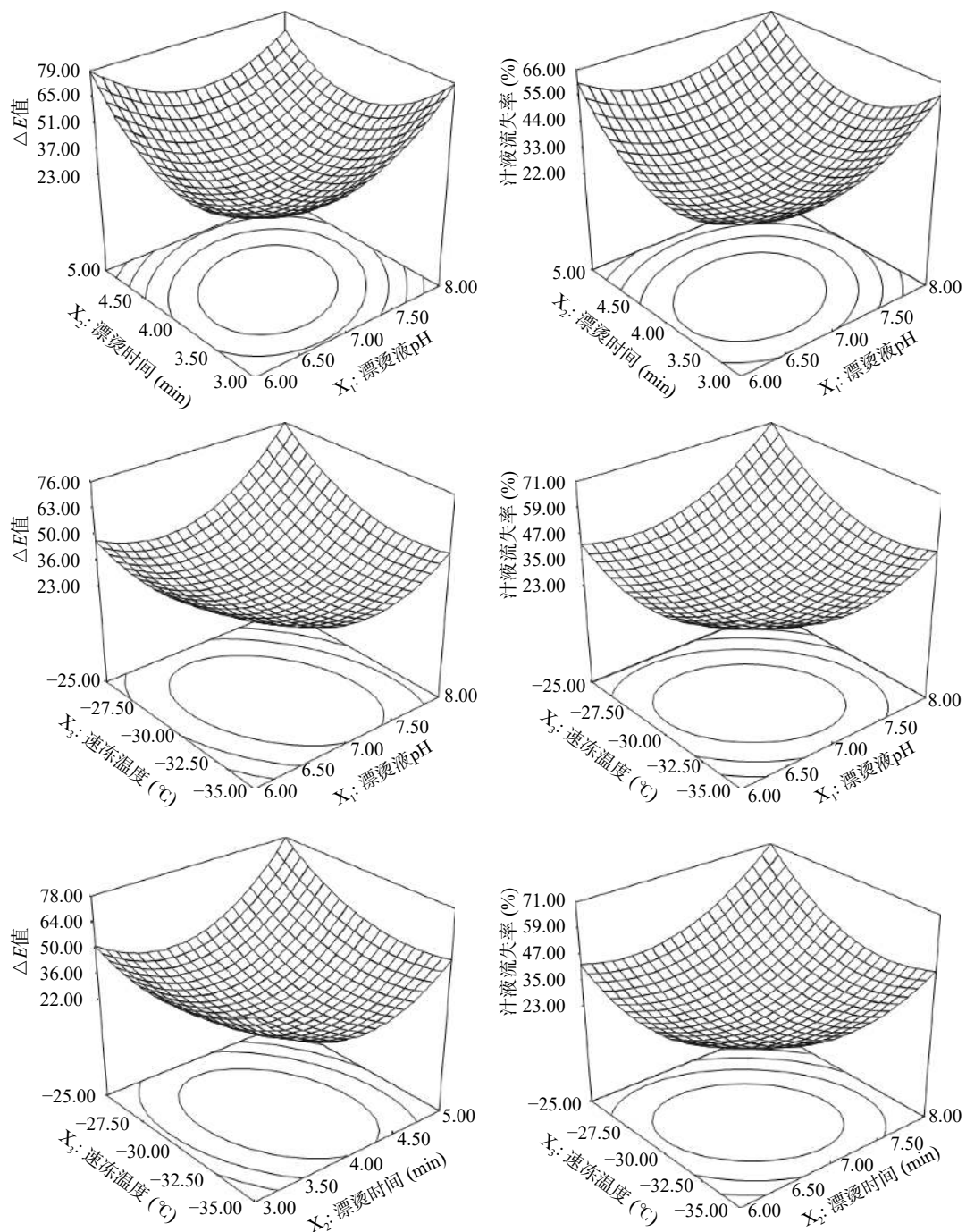


图 4 各因素交互作用对 ΔE 值和汁液流失率影响的响应面图

Fig.4 Response surface plot of effect of interaction between each factor on the ΔE value and drip loss

表 5 速冻乌龙头品质检测
Table 5 Quality detection of frozen *Aralia chinensis* L.

项目	检验项目	标准要求		实测值	结论
感官品质	形态	同一品种或相似品种,具有本品该有的形态,形态规则、大小均一整齐、质地良好,无粘连、结块、结霜和风干现象		具有本品该有的形态,形态规则、大小均一整齐、质地良好,无粘连、结块、结霜和风干现象	符合
	色泽	色泽一致,具有本品应有的颜色		色泽一致,具有本品应有的颜色	符合
	缺陷	无病虫害,无漂烫过度、腐烂、揉烂,无机械伤,无肉眼可见外来杂质,无不正常外来水分		无病虫害,无漂烫过度、腐烂、揉烂,无机械伤,无肉眼可见外来杂质,无不正常外来水分	符合
	滋味和气味	解冻后具有本产品应有的风味,无异味		解冻后具有本产品应有的风味,无异味	符合
污染物限量	铅(以Pb计)	≤0.1 mg/kg		未检出	符合
	镉(以Cd计)	≤0.05 mg/kg		0.00184	符合

官和污染物限量等品质指标均符合标准的要求, 可用来指导生产实践。

3 结论

通过单因素实验, 确定漂烫液 pH、漂烫时间、速冻温度等因素对速冻乌龙芽色泽和汁液流失率的影响范围, 采用 Box-Behnken Design 试验设计及响应面分析, 建立二次多元回归数学模型, 得到最佳工艺条件为: 漂烫液 pH7.50, 漂烫时间 4.00 min, 速冻温度-30.00 °C, 在该条件下得到的速冻乌龙头芽的 ΔE 值和汁液流失率与模型预测值的相对误差较小, 分别为 0.58% 和 1.14%, 表明该模型合理可靠, 以该工艺生产的速冻乌龙头芽产品品质符合 NY/T1406-2018《绿色食品 速冻蔬菜》标准的要求, 为乌龙头的开发利用提供理论依据。

参考文献

- [1] 杨天恩. 陇东南地区乌龙头无公害高产栽培技术[J]. 甘肃农业科技, 2019(2): 90-92. [YANG T E. Pollution-free and high-yield cultivation techniques of *Aralia chinensis* L. in Southeastern Gansu[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2019(2): 90-92.]
- [2] 柏广利, 吴志鹏, 张宗俊, 等. 功能保健型野菜榉木南京地区无公害栽培技术[J]. 蔬菜, 2011(1): 8-9. [BAI G L, WU Z P, ZHANG Z J, et al. Pollution-free and high-yield cultivation techniques of functional health wild *Aralia chinensis* L. in Nanjing area[J]. Vegetables, 2011(1): 8-9.]
- [3] 齐明明. 食用龙牙榉木化学成分分析与品质评价[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2017. [QI M M. The chemical constituents analysis and quality evaluation of edible *Aralia elata*[D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2017.]
- [4] 毛永丽, 张杰, 叶文斌. 小陇山林区乌龙头苗木培育与栽培管理技术[J]. 中国资源综合利用, 2019, 37(5): 179-181, 187. [MAO Y L, ZHANG J, YE W B. Cultivation and management of *aralia chinensis* in Xiaolong Mountain forest area[J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2019, 37(5): 179-181, 187.]
- [5] 宋居易, 陈惠, 郝德荣, 等. 我国速冻果蔬产业发展存在的问题与对策[J]. 安徽农学通报, 2016, 22(8): 116-117, 133. [SONG J Y, CHEN H, HAO D R, et al. Situation and problems related to development industry of frozen fruits and vegetables in China[J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2016, 22(8): 116-117, 133.]
- [6] 宋建飞. 磁场辅助冻结对果蔬冻结特性及贮藏品质的影响[D]. 天津: 天津商业大学, 2017. [SONG J F. Effects of freezing assisted by magnetic field on freezing characteristics and quality of vegetables[D]. Tianjin: Tianjin University of Commerce, 2017.]
- [7] 漆江娥, 石红桃. 漳县野生蔬菜乌龙头开发利用与发展前景[J]. 农业科技与信息, 2016(20): 6-7. [QI J E, SHI H T. Development and utilization of wild vegetable *aralia chinensis* in Zhang County[J]. Agricultural Science-Technology and Information, 2016(20): 6-7.]
- [8] 冯磊, 李元敬, 张学义, 等. 一种压差膨化龙牙榉木酥脆食品的加工工艺研究[J]. 中国林副特产, 2018(1): 45-50. [FENG L, LI Y J, ZHANG X Y, et al. Study on the processing technology of *aralia chinensis* crisp food treated by differential pressure explosion puffing[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2018(1): 45-50.]
- [9] 陈亮, 戴文娟. 软枣猕猴桃-龙牙榉木混合汁饮料加工工艺的研究[J]. 中国林副特产, 2012(6): 10-12. [CHEN L, DAI W J. Study on the processing technology of the mixed juice drink of hardy kiwifruit and *Aralia chinensis*[J]. Forest By-Product and Speciality in China, 2012(6): 10-12.]
- [10] GIANNAKOUREOU M C, TAOUKIS P S. Meta-analysis of kinetic parameter uncertainty on shelf life prediction in the frozen fruits and vegetable chain[J]. Springer US, 2019, 11(1): 14-28.
- [11] BULUT M, BAYER Ö, KIRTI E, et al. Effect of freezing rate and storage on the texture and quality parameters of strawberry and green bean frozen in home type freezer[J]. International Journal of Refrigeration, 2018, 88(4): 360-369.
- [12] FARAVELLI L. Response-surface approach for reliability analysis[J]. Journal of Engineering Mechanics, 2014, 115(12): 2763-2781.
- [13] 杨秀东, 白子凡, 徐永涛, 等. 响应面法优化托盘根总皂苷提取工艺及抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技: 1-15 [2021-04-26]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120266>. [YANG X D, BAI Z F, XU Y T, et al. Optimization of extraction process of total saponins from *Rubus crataegifolius* Bunge. root by response surface methodology and its antioxidant activity[J]. Science and Technology of Food Industry: 1-15 [2021-04-26]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120266>.]
- [14] ASIYE A, FEYZA K Z, HAKAN B, et al. Changes in color and total phenolic content of different cultivars of persimmon during dehydration[J]. International Journal of Food Engineering, 2008, 4(7): 1-12.
- [15] FONGIN S, NIMITKEATKAI H, PROMMAJAK T, et al. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of litchi: Effect of pretreatment on mass transfer and quality attributes during frozen storage[J]. Food Measure, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-00931-9>.
- [16] 陈岩, 王慧, 王富华, 等. NY/T1406-2018 绿色食品速冻蔬菜[S]. 北京: 中国农业出版社, 2018. [CHEN Y, WANG H, WANG F H, et al. NY/T1406-2018 Green food-quick-frozen vegetables[S]. Beijing: China Agricultural Press, 2018.]
- [17] 张海燕. 速冻苹果冻藏品质变化及冻藏工艺优化[J]. 甘肃农业科技, 2015(7): 18-22. [ZHANG H Y. Study on quality change during frozen storage and optimization of frozen storage process of frozen apple[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2015(7): 18-22.]
- [18] 曹家蕊, 王冰, 李方巍, 等. pH 值对热处理后菠菜和油菜类囊体膜稳定性的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(20): 41-46. [CAO J R, WANG B, LI F W, et al. Effects of pH on stability of thylakoid membrane in spinach and oilseed rape after heat treatment[J]. Food Science, 2019, 40(20): 41-46.]
- [19] HUANG J C, YANG J, HUANG F, et al. Effect of fast pH decline during the early postmortem period on calpain activity and cytoskeletal protein degradation of broiler *M. pectoralis major*[J]. Poultry Science, 2016, 95(10): 2455-2463.
- [20] MUNYAKA A W, MAKULE E E, OEY I, et al. Thermal stability of L-ascorbic acid and ascorbic acid oxidase in broccoli

- (*Brassica oleracea* var. *italica*)[J]. *Journal of Food Science*, 2010, 75(4): 336–340.
- [21] 康三江, 张永茂, 张海燕, 等. 漂烫对速冻苹果丁过氧化物酶活性及品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(23): 333–338. [KANG S J, ZHANG Y M, ZHANG H Y, et al. Effect of blanching on peroxidase activity and the qualities of quick-frozen apple cubes[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(23): 333–338.]
- [22] PÉREZ-CALDERÓN J, SANTOS M V, ZARITZKY N. Processing of pre-cooked frozen Brussels sprouts: Heat transfer modelling as related to enzyme inactivation and quality stability[J]. *Food and Bioproducts Processing*, 2019, 118(11): 114–129.
- [23] 张海燕, 张永茂, 康三江, 等. 漂烫对速冻苹果质地的影响[J]. *中国酿造*, 2015, 34(5): 101–105. [ZHANG H Y, ZHANG Y M, KANG S J, et al. Effects of blanching process on texture of frozen apple[J]. *China Brewing*, 2015, 34(5): 101–105.]
- [24] GUIDA V, FERRARI G, PATARO G, et al. The effects of ohmic and conventional blanching on the nutritional, bioactive compounds and quality parameters of artichoke heads[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2013, 53(2): 569–579.
- [25] NEVES F I G, VIEIRA M C, SILVA C L M. Inactivation kinetics of peroxidase in zucchini (*Cucurbita pepo* L.) by heat and UV-C radiation[J]. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 2012, 13(1): 158–162.
- [26] WANG L L, CHEN Y M, LI Z G. The effects of freezing on soybean microstructure and qualities of soymilk[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 116(1): 1–6.
- [27] DONGEN-VOGELS V V, SEYMOUR J R, MIDDLETON J F, et al. Shifts in picophytoplankton community structure influenced by changing upwelling conditions[J]. *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 2012, 109(8): 81–90.
- [28] 冯亚超. 速冻子姜片关键加工工艺及冻藏品质变化研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2016. [FENG Y C. Key processing technology of quick-frozen baby ginger slice and quality change during the frozen storage[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2016.]
- [29] 张海燕, 康三江, 张芳, 等. 速冻苹果加工工艺优化研究[J]. *核农学报*, 2016, 30(3): 516–524. [ZHANG H Y, KANG S J, ZHANG F, et al. Study on processing technology optimization of frozen apple[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2016, 30(3): 516–524.]
- [30] 刘帮迪, 吕晓龙, 王彩霞, 等. 高温短时热空气处理促进甘薯愈伤的工艺优化[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(19): 313–322. [LIU B D, LYU X L, WANG C X, et al. Process optimization of high temperature and short time hot air treatment to promote the callus formation of sweet potatoes[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2020, 36(19): 313–322.]