

## 新型复合保鲜贮藏方法对鲜参切片品质的影响及货架期预测

鲁海玲, 徐艳阳

### Effects of a New Combination Fresh-keeping Storage Method on Quality and Shelf-life Prediction for Fresh-cutting Ginseng Slices

LU Hailing and XU Yanyang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023040168>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

指示吸水垫托盘包装冷鲜猪肉的品质变化动力学模型及其货架期预测

Dynamic Model of Quality Change and Shelf-life Prediction of Cold Fresh Meat Packaged with Indicator Water Absorbing Pad

食品工业科技. 2019, 40(9): 275-280 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.09.048>

等离子体活化水对鲜切生菜杀菌效能及贮藏品质影响

Effect of Plasma Activated Water on Microbial Decontamination and Storage Quality of Fresh-cut Lettuce

食品工业科技. 2020, 41(21): 281-285,292 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019120106>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

鲁海玲, 徐艳阳. 新型复合保鲜贮藏方法对鲜参切片品质的影响及货架期预测 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(4): 282-289. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040168

LU Hailing, XU Yanyang. Effects of a New Combination Fresh-keeping Storage Method on Quality and Shelf-life Prediction for Fresh-cutting Ginseng Slices[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(4): 282-289. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040168

· 贮运保鲜 ·

# 新型复合保鲜贮藏方法对鲜参切片品质的影响及货架期预测

鲁海玲, 徐艳阳\*

(吉林大学食品科学与工程学院, 吉林长春 130062)

**摘要:**目的: 探究一种新型复合保鲜贮藏方法, 预测鲜参切片的货架期。方法: 应用酸性氧化电位水杀菌、真空包装、低温等离子体杀菌等技术复合处理鲜参切片, 然后分别在-2、4、25 和 36 °C 进行贮藏, 每隔 15 d 测定鲜参切片的色泽、水分含量、人参皂苷 Rg1、Re、Rb1 含量和菌落总数等指标, 建立贮藏期间鲜参切片的菌落总数变化动力学模型。结果: 确定鲜参切片的复合保鲜工艺为: 酸性氧化电位水处理→真空包装→低温等离子体处理→低温贮藏。在-2 和 4 °C 贮藏有效地抑制鲜参切片菌落总数的增长、水分含量的下降, 延缓鲜参切片颜色的变化。贮藏 60 d 后, 鲜参切片中人参皂苷 Rg1、Re 和 Rb1 的含量上升。通过基于菌落总数变化的一级反应动力学模型和 Arrhenius 方程, 建立鲜参切片的货架期预测模型。结论: 建立了鲜参切片的最佳复合保鲜贮藏方式, 这种复合保鲜贮藏方法可有效抑制鲜参切片的品质劣化, 延长其货架期。

**关键词:** 鲜参切片, 酸性氧化电位水, 低温等离子体, 近冰温贮藏, 货架期预测模型

中图分类号: TS254.4

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2024)04-0282-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023040168



本文网刊:

## Effects of a New Combination Fresh-keeping Storage Method on Quality and Shelf-life Prediction for Fresh-cutting Ginseng Slices

LU Hailing, XU Yanyang\*

(College of Food Science and Engineering, Jilin University, Changchun 130062, China)

**Abstract:** Objective: In order to explore a new compound fresh-keeping storage method and predict the shelf life of fresh ginseng-cutting slices. Method: Fresh ginseng slices were treated by acidic electrolyzed-oxidizing water sterilization, vacuum packaging and low temperature plasma sterilization, and then stored at -2, 4, 25 and 36 °C, respectively. The color, moisture content, ginsenoside Rg1, Re, Rb1 content and total flora number of fresh ginseng slices were measured every 15 days, and established the dynamic model in fresh ginseng slices during storage. Results: The combined preservation technology of fresh cucumber slice was determined as follows: Acidic electrolyzed-oxidizing water treatment→vacuum packaging→low temperature plasma treatment→low temperature storage. Stored at -2 and 4 °C effectively inhibited the increase of total flora number and decrease of water content, and delayed the change of color of fresh ginseng slices. After 60 days of storage, the contents of ginsenoside Rg1, Re and Rb1 in fresh ginseng slices increased. The shelf-life prediction model of fresh ginseng slices was established by the first order reaction kinetics model based on the total number of colonies and the Arrhenius equation. Conclusion: Establish the best combined fresh-keeping storage method of fresh ginseng slices. The combined fresh-keeping storage can effectively inhibit the quality deterioration of fresh ginseng slices and prolong their shelf life.

收稿日期: 2023-04-19

基金项目: 吉林省科技发展规划项目 (20200402064NC, 20200708055YY)。

作者简介: 鲁海玲 (1995-), 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏, E-mail: 287765045@qq.com。

\* 通信作者: 徐艳阳 (1971-), 博士, 副教授, 研究方向: 农产品加工及贮藏, E-mail: xuyy@jlu.edu.cn。

**Key words:** fresh-cutting ginseng slices; acidic electrolyzed-oxidizing water; low temperature plasma; near-ice temperature storage; shelf life prediction model

人参(*Panax ginseng* C.A. Mey.)是五加科人参属多年生直立草本植物的根和根茎,中部直径 1~2 cm,外皮呈淡黄色,质地较硬,是我国名贵的传统中药材和新食品原料<sup>[1]</sup>。现代研究发现人参具有抗氧化<sup>[2-3]</sup>、降血压与降血脂<sup>[4]</sup>、抗炎<sup>[5-6]</sup>、抗抑郁<sup>[7]</sup>、抑制肿瘤细胞生长<sup>[8]</sup>等作用。

传统的人参保鲜方法有自然贮藏法、冰箱贮藏法<sup>[9]</sup>、砂藏法<sup>[10-11]</sup>、塑料薄膜保鲜法等。随着现代食品加工技术的发展,目前人参的主要贮藏方法有冷冻贮藏、保鲜剂贮藏、辐照贮藏、气调贮藏、低温贮藏等。例如秦晓晔等<sup>[12]</sup>采用 4 ℃ 冷藏、-20 ℃ 冷冻、60% 乙醇浸泡贮藏人参 90 d 后,超氧化物歧化酶、过氧化氢酶、过氧化物酶的活性低于贮藏前,淀粉酶和酯酶活性高于贮藏前,且在冷冻和冷藏条件下 5 种酶的活性均高于醇泡条件。王聪等<sup>[13]</sup>利用保鲜剂对人参处理并在 4 ℃ 贮藏 150 d 较好。乔一珈等<sup>[14]</sup>以复合膜剂(魔芋葡甘聚糖、菊花提取物、金银花)处理鲜参,提高了鲜参的超氧化物歧化酶和过氧化物酶的活性。李亚丽等<sup>[15]</sup>发现 40 μmol/L 脱落酸处理后的鲜参在贮藏期间营养物质得以有效保持。JIN 等<sup>[16]</sup>应用非热杀菌和抗菌包装对鲜人参根进行保鲜,GAO 等<sup>[17]</sup>应用<sup>60</sup>Co-γ 和电子束辐照贮藏人参,HU 等<sup>[18]</sup>应用复合薄膜气调贮藏鲜人参,JIN 等<sup>[19]</sup>应用杀菌剂、可食抗菌薄膜和气调包装,延长鲜人参根的货架期。GAO 等<sup>[20]</sup>应用低温贮藏鲜人参。

关于食品货架期预测的经典模型是 Arrhenius 方程及其一级反应动力学方程。目前国内外的研究主要应用在生鲜果蔬<sup>[21-22]</sup>、水产品<sup>[23-25]</sup>、肉制品<sup>[26]</sup>等食品中。例如徐艳阳等<sup>[27]</sup>应用充氮包装(>99%)贮藏鲜参,并根据不同温度下人参总皂苷含量的变化与 Arrhenius 方程建立了人参货架期的预测模型。

国内外学者在鲜人参的贮藏、保鲜和延长货架期方面取得了一些进展,但主要研究的是整支人参,对于鲜参切片的贮藏研究较少。由于果蔬经鲜切处理后,导致天然防护微生物侵染的结构丧失,因切口组织的暴露,与完整组织相比,更易被微生物侵染,同时切口表面的营养更易被利用。因此,需要采取即时的杀菌处理,才能保证产品的新鲜度和货架期。杀菌是果蔬保鲜加工的关键技术,除了传统的热杀菌方法以外,近年来出现了超高压技术、辐照技术、超声波技术、脉冲强光技术、酸性电解水和等离子技术等冷杀菌方法。其中酸性电解水和低温等离子体在生鲜果蔬杀菌方面有一些应用研究,但在鲜参切片杀菌方面的研究极少。因此,本文通过酸性氧化电位水杀菌、真空包装和低温等离子体杀菌联合处理鲜参切片,然后进行不同温度下的贮藏动力学研究,结合

Arrhenius 方程建立鲜参切片的货架期预测模型,为研究鲜参切片的联合保鲜方法提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

三年生吉林长白山鲜人参,每支人参约 30~50 g 珲春华瑞参业生物工程股份有限公司提供;甲醇、乙腈 色谱纯,美国 Fisher 公司;人参皂苷 Rg1、Rb1、Re 色谱纯,上海源叶生物科技有限公司;Symmetry® C<sub>18</sub> 色谱柱 日本岛津公司。

ZS-AEOW-1500 酸性氧化电位水生成器 长春云卫科技有限公司;VOSHIN-800R 无菌均质器 无锡沃信仪器有限公司;SY-DT02S 低温等离子体处理仪 苏州市奥普斯等离子体科技有限公司;LC-20A 高效液相色谱仪 日本岛津公司;DSCQ2000 差式扫描量热仪 美国 TA 仪器公司;Yaxin-0232 热电偶测温仪 北京雅欣理仪科技有限公司;Synergy HT 多功能微孔板检测仪 美国 BioTek 公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 鲜参冰点温度的测定

1.2.1.1 DSC 法测定鲜参的冰点温度 使用差式扫描量热仪测定鲜参的冰点温度。准确称取 10~30 mg 鲜参切片 6 片,分别放入固体样品盘中,压盖密封,同时以空白密封盘为参比,测定条件见表 1。

表 1 DSC 法的测定条件  
Table 1 Measurement conditions for DSC method

DSC 仪器参数	净化气体	净化气流速 (mL/min)	程序温度 范围(℃)	升温速率 (℃/min)
测定条件	高纯氮气	50	-50~40	10

1.2.1.2 冻结法测定鲜参的冰点温度 切取 1 cm 厚的鲜参块,将热电偶测温仪的测量端插入鲜参块的中心位置,然后放入-80 ℃ 冰箱中,同时将热电偶测温仪的参考端放入装有冰水混合物的 0 ℃ 保温桶中,记录样品温度,每隔 1 s 记录 1 次,待样品中心温度降至-30 ℃ 时停止测定。

1.2.2 不同处理方式对鲜参切片菌落总数的影响 不同的处理方式见表 2,其中酸性氧化电位水<sup>[28]</sup>(acidic electrolyzed-oxidizing water, AEOW)的处理条

表 2 鲜参切片的处理方式

Table 2 Processing method of fresh-cut ginseng slices

组别	操作步骤
1	自来水清洗→切片
2	自来水清洗→切片→AEOW处理
3	自来水清洗→切片→LTP处理
4	自来水清洗→AEOW处理→切片→LTP处理
5	自来水清洗→AEOW处理→切片→真空包装→LTP处理

件为料液比为 1:10 (g/mL)、浸泡时间为 11 min、浸泡温度为 25 °C, 低温等离子体<sup>[29]</sup>(low temperature plasma, LTP)的处理条件为放电电源功率 340 W、处理时间 4.7 min、气体流速 10 cm<sup>3</sup>/min。

### 1.2.3 鲜参切片的联合保鲜方式具体操作

1.2.3.1 酸性氧化电位水杀菌 挑选新鲜、无破损的人参, 控制人参的重量差值 ≤ 10 g, 使用自来水和软毛刷刷去表面泥土, 刷洗力度需适中, 避免造成人参表皮破损, 沥干后浸入 AEOW 中, 浸泡条件为料液比 1:10 (g/mL)、浸泡时间 11 min、杀菌温度为 25 °C, 沥干。

1.2.3.2 真空包装 将 1.2.3.1 中鲜参进行切片, 厚度为 1.0~1.5 mm, 然后进行真空包装。包装袋大小: 18 cm×25 cm, 厚度: 0.16 mm, 每袋装(20±5) g 鲜参切片, 真空度在-0.095~-0.1 MPa。包装袋使用前放入紫外光下照射 30 min。

1.2.3.3 低温等离子体杀菌 将 1.2.3.2 处理的鲜参切片进行 LTP 杀菌处理, 杀菌条件为放电电源功率 340 W、处理时间 4.7 min、气体流速 10 cm<sup>3</sup>/min。

1.2.3.4 鲜参切片联合保鲜工艺流程 挑选整支鲜参→酸性氧化电位水浸泡杀菌处理→沥干→切片→真空包装→低温等离子体杀菌处理→不同温度贮藏, 如图 1。



图 1 包装后的鲜参切片

Fig.1 Fresh-cut ginseng slices after packaging

1.2.4 鲜参切片的理化指标检测方法 将不同处理的鲜参切片分别置于近冰温-2、4、25 和 36 °C 环境下进行贮藏, 第 0、15、30、45、60 d 进行测定。

1.2.4.1 鲜参切片色泽的测定 利用色差计测定鲜参切片的  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$ , 按如下式(1)计算  $\Delta E^*$ :

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

式中:  $L^*$  代表亮度,  $L^*=0$  代表黑色,  $L^*=100$  代表白色;  $a^*>0$  代表红度,  $a^*<0$  代表绿度;  $b^*>0$  代表黄度,  $b^*<0$  代表蓝度。

1.2.4.2 鲜参切片水分含量的测定 参考 GB/T 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》测定鲜参切片的水分含量。

1.2.4.3 鲜参切片中人参皂苷 Re、Rg1、Rb1 含量的测定 参考中国药典<sup>[1]</sup>应用 LC-20A 高效液相色谱仪测定: 色谱柱为 Symmetry® C<sub>18</sub> 柱 (150 mm×

4.6 mm, 5 μm), 流动相 A 为乙腈, B 为水, 检测波长 203 nm, 流速 0.4 mL/min, 柱温 30 °C, 进样量 10 μL。

a. 人参皂苷标准溶液的制备: 准确称取人参皂苷标准品 Re、Rg1、Rb1 标准品各 10.00 mg 分别置于 10.0 mL 容量瓶中, 用甲醇溶解、定容, 再按梯度稀释法配制不同质量浓度梯度的标准溶液, 备用。

b. 样品溶液的制备: 准确称取 0.2 g 人参粉末, 加 5.0 mL 甲醇溶液, 超声提取(400 W)1.0 h 后离心(4000 r/min)20 min。上清液过滤(0.22 μm 微孔滤膜), 作为样品待测液。

1.2.4.4 鲜参切片菌落总数的测定 按照 GB 4789.2-2016 方法检测鲜参切片的菌落总数。

1.2.5 贮藏期间鲜参切片的菌落总数变化动力学模型的建立

1.2.5.1 贮藏期间鲜参切片菌落总数的变化动力学模型 通过监测鲜参切片菌落总数随着贮藏温度、贮藏时间的变化规律, 建立鲜参切片的货架期预测模型。一级反应动力学方程见式(2)。

$$A = A_0 \times e^{kt} \quad \text{式 (2)}$$

式中:  $t$  为贮藏时间天数,  $d$ ;  $A$  为贮藏  $t$  时刻的菌落总数, lg CFU/g;  $A_0$  为菌落总数的初始值, lg CFU/g;  $k$  为菌落总数的变化速率。

1.2.5.2 不同贮藏温度下菌落总数 Arrhenius 方程的建立 Arrhenius 方程(式 3)描述的是反应速率常数与温度之间的关系<sup>[30]</sup>, 对式(3)取对数得到式(4)。

$$k = k_0 \times e^{-\frac{E_a}{R \times T}} \quad \text{式 (3)}$$

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{R \times T} \quad \text{式 (4)}$$

式中:  $k$  为反应速率常数;  $k_0$  为方程指前因子;  $E_a$  为活化能, kJ/mol;  $R$  为气体常数, 8.314 J/(mol·K);  $T$  为贮藏温度, K。

1.2.5.3 鲜参切片菌落总数货架期预测模型的建立

将一级反应动力学方程和 Arrhenius 方程结合, 通过评定终点以及贮藏温度对鲜参切片货架期进行理论预测, 并得到货架期预测模型式(5)。

$$SL = \frac{\ln A - \ln A_0}{k_0 \times e^{-\frac{E_a}{R \times T}}} \quad \text{式 (5)}$$

式中: SL 为货架期, d。

## 1.3 数据处理

每组试验重复 3 次, 结果以平均数±标准差表示; 应用 SPSS 17.0 软件进行方差分析及多重比较分析,  $P<0.05$  代表差异显著; 使用 Origin 2020 软件作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 鲜参的冰点温度

应用 DSC 和冻结法测定鲜参的冰点温度见表 3, 分别为-1.80、-2.65 °C, 二者无显著性差异

表 3 鲜参的冰点温度  
Table 3 Freezing emperature of fresh ginseng

试验次数检测方法	1	2	3	4	5	6	平均值±标准差(°C)
DSC测得的冰点温度(°C)	-1.64	-1.63	-1.68	-1.89	-2.16	-1.79	-1.80±0.22 <sup>a</sup>
冻结法测得的冰点温度(°C)	-2.34	-3.01	-2.58	-2.74	-2.59	-2.64	-2.65±0.20 <sup>a</sup>

注: 表中相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ )。

( $P>0.05$ ), 结合实际贮藏条件, 最终确定近冰点贮藏温度为(-2±0.5) °C。

2.2 不同保鲜方式对鲜参切片菌落总数的影响

按照表 2 中的不同处理方式对鲜参进行处理, 检测结果见表 4。由表 4 可知, 第 4 组处理的鲜参切片菌落总数最少, 为(1.52±0.11) lg CFU/g, 其次是第 5 组, 为(3.26±0.02) lg CFU/g, 两者差异显著( $P<0.05$ ), 区别在于第 5 组中多了真空包装。本文中 LTP 处理仪的工作压力<100 Pa, 当未包装的鲜参切片直接放入 LTP 处理仪中, 处理腔内压强下降速度缓慢, 导致

放电作用暂停。第 5 组中鲜参切片经过真空包装后, 再进行低温等离子体处理, 避免了二次污染, 因此, 综合考虑确定第 5 组为较佳的复合保鲜方式。

2.3 鲜参切片在贮藏过程中色泽的变化

由图 2 可知, 随着贮藏时间的延长,  $L^*$  不断下降,  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E^*$  不断升高。这是由于随着贮藏时间的延长, 鲜参切片逐渐出现褐变, 温度越高, 发生褐变的时间越快(图 3)。在-2 °C 贮藏,  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  在 60 d 内变化不显著( $P>0.05$ ); 在 4 °C 贮藏,  $L^*$  在第 45 d、 $a^*$  与  $b^*$  在第 30 d 发生变化( $P<0.05$ ); 在 25、36 °C 贮藏,

表 4 不同保鲜处理后鲜参切片的菌落总数

Table 4 Total number of colonies on fresh-cut ginseng slices treated with different sterilization methods

组别与保鲜方式	菌落总数(lg CFU/g)	杀菌率(%)
1. 自来水清洗→切片	5.73±0.01 <sup>a</sup>	0
2. 自来水清洗→切片→AEOW处理	4.46±0.01 <sup>b</sup>	94.63±0.0027 <sup>d</sup>
3. 自来水清洗→切片→LTP处理	3.77±0.02 <sup>c</sup>	98.93±0.0008 <sup>c</sup>
4. 自来水清洗→AEOW处理→未包装→LTP处理	1.52±0.11 <sup>e</sup>	99.99±0.0001 <sup>a</sup>
5. 自来水清洗→AEOW处理→真空包装→LTP处理	3.26±0.02 <sup>d</sup>	99.66±0.0002 <sup>b</sup>

注: 同组中相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ ), 表中不同字母表示差异显著( $P<0.05$ )。

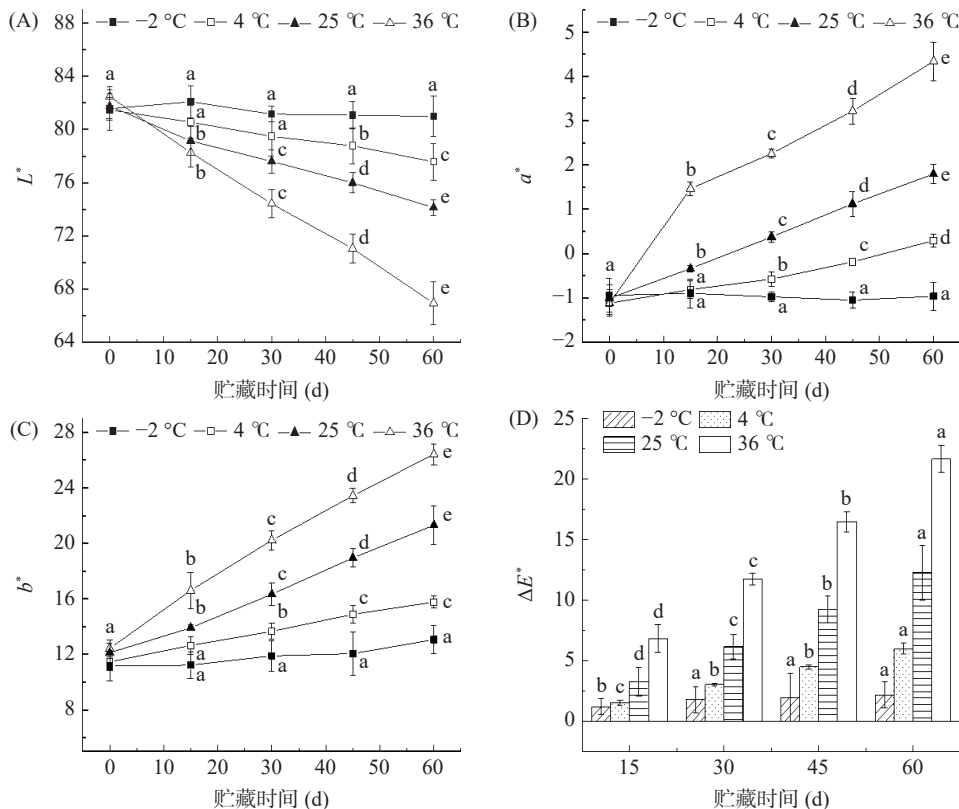


图 2 贮藏温度对鲜参切片颜色  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E^*$  的影响

Fig.2 Effects of storage temperature on the color  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $\Delta E^*$  of fresh-cut ginseng slices

注: 图中不同字母表示差异显著, 相同字母表示差异不显著。

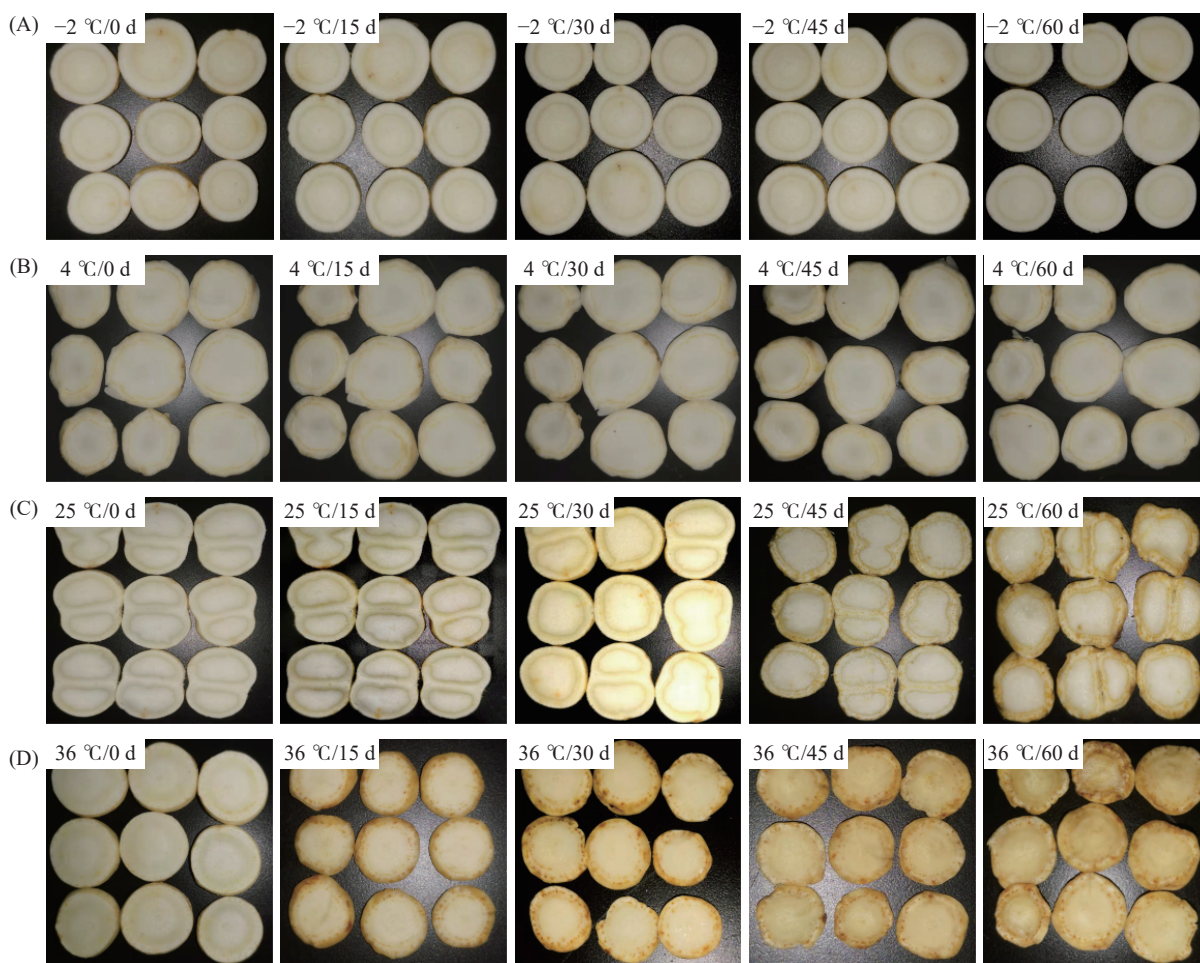


图3 不同贮藏温度下鲜参切片的外观变化

Fig.3 Appearance changes of fresh-cut ginseng slices at different storage temperatures

注: (A)-2 °C; (B)4 °C; (C)25 °C; (D)36 °C。

$L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 均在第 15 d 发生显著改变( $P<0.05$ )。由图 2D 可知, 在第 60 d, 当贮藏温度为-2、4 °C 时,  $\Delta E^*$ 值分别为 2.17、5.98, 在 25、36 °C 贮藏时,  $\Delta E^*$ 值显著提高到 12.28 与 21.64。说明低温贮藏可以显著抑制鲜参切片的褐变。

### 2.4 鲜参切片在贮藏过程中水分含量的变化

贮藏过程中水分含量是鲜参切片品质变化的一个重要指标。鲜参切片的含水量越多, 温度越高, 水

分的蒸腾作用越快、流失也越快。如图 4 所示, 在 25、36 °C 条件下, 随着贮藏时间的延长, 鲜参切片的水分含量显著下降( $P<0.05$ ); 在-2、4 °C 条件下, 鲜参切片水分含量变化不显著( $P>0.05$ )。因此, 低温贮藏有效抑制鲜参切片的蒸腾作用, 能较好地保持其水分。

### 2.5 鲜参切片在贮藏过程中人参皂苷 Rg1、Re、Rb1 含量的变化

方法学验证: 三种人参皂苷的标准曲线如图 5A、图 5C、图 5E 所示, 由回归系数  $R^2>0.995$  可知 3 种人参皂苷浓度在 5~30  $\mu\text{g/mL}$  范围内线性关系良好。根据表 5, 人参皂苷 Rg1、Re、Rb1 重复性、精密性、稳定性试验的峰面积相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)均小于 4.00%, 表明该方法重复性良好, 仪器精密性良好, 3 种人参皂苷在测定时间范围内稳定性良好。

由图 5 可知, 不同温度贮藏对人参皂苷含量变化影响不同。贮藏 60 d 后, -2、4、25、36 °C 人参皂苷 Rg1 的含量较贮藏初期分别增加了 55.67%、45.88%、27.84%、21.76%, 且 Rg1 的增加量随着贮藏温度的升高相应地降低; 人参皂苷 Rb1 的含量较贮藏初期分别增加了 64.51%、132.25%、209.68%、

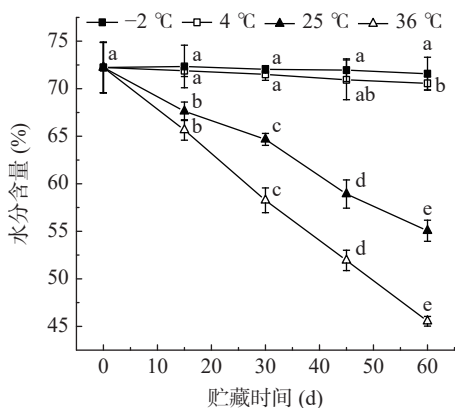


图4 贮藏温度对鲜参切片水分含量的影响

Fig.4 Effect of storage temperature on moisture content of fresh-cut ginseng slices

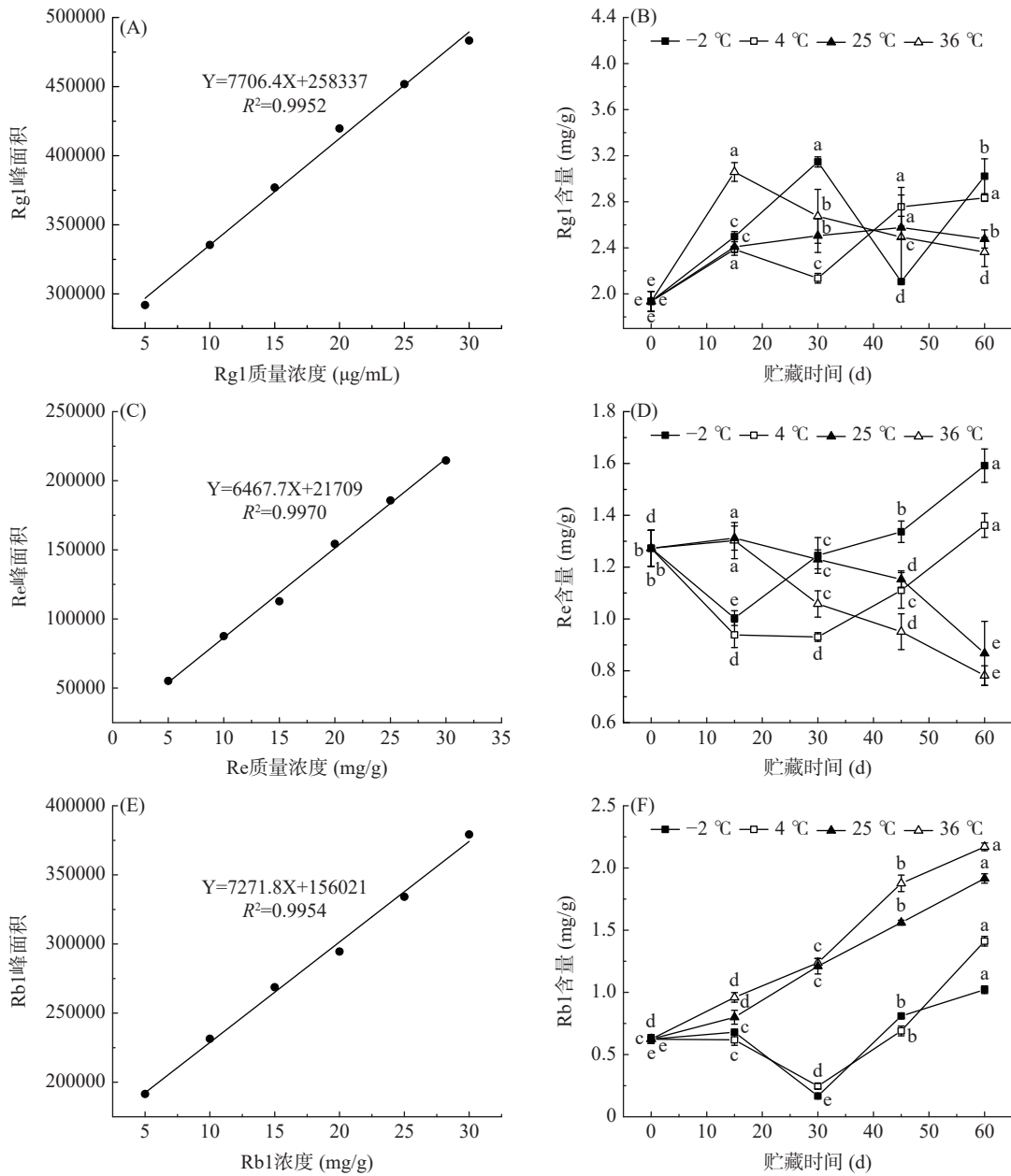


图 5 贮藏温度对鲜参切片人参皂苷 Rg1、Re、Rb1 含量的影响

Fig.5 Effects of storage temperature on the contents of ginsenosides Rg1, Re and Rb1 in fresh-cut ginseng slices

注: 不同小写字母表明差异显著( $P < 0.05$ ); (A): Rg1 标准曲线; (B): Rg1 含量; (C): Re 标准曲线; (D): Re 含量; (E): Rb1 标准曲线; (F): Rb1 含量。

表 5 人参皂苷 Rg1、Re 和 Rb1 方法学验证

Table 5 Methodological validation of ginsenosides Rg1, Re and Rb1

名称	标准曲线	$R^2$	检测范围( $\mu\text{g/mL}$ )	重复性RSD(%)	精密性RSD(%)	稳定性RSD(%)	平均回收率(%)
Rg1	$Y=7706.4X+258337$	0.9952	5~30	3.17	2.00	2.10	95.54
Re	$Y=6467.7X+21709$	0.9970	5~30	3.25	3.76	2.45	95.37
Rb1	$Y=7271.8X+156021$	0.9954	5~30	3.92	2.40	0.76	97.04

250.00%, 且 Rb1 含量随着贮藏温度的升高而升高。人参皂苷 Re 的含量在 -2、4 °C 贮藏时, 分别增加了 25.20% 与 7.09%, 当贮藏温度在 25、36 °C 时, Re 含量分别降低了 31.49% 与 38.58%。表明贮藏温度对人参皂苷 Rg1、Rb1、Re 的影响较大, 且温度越高影响越大。据 LIU 等<sup>[31]</sup> 报道, 鲜人参中含有较多的丙二酰人参皂苷, 化学性质不稳定, 在贮藏期间易降解为相应的中性人参皂苷, 因此贮藏中鲜人参中的各种

单体皂苷含量有较大的差异。

## 2.6 鲜参切片在贮藏过程中菌落总数的变化

如图 6 所示, 贮藏温度在 -2、4、25、36 °C 时, 鲜参切片的菌落总数随着贮藏时间的延长而不断增多, 贮藏温度越高, 菌落总数增加的越多。在 25 °C 条件下, 第 45 d 时鲜参切片的菌落总数达到 4.24 lg CFU/g; 在 36 °C 条件下, 第 30 d 时菌落总数达到 4.23 lg CFU/g, 超过了国标 GB/T 22534-2008 限值。在 -2、

4℃贮藏温度下,第60d的鲜参切片的菌落总数分别为2.52、2.98 lg CFU/g,均低于国标限值。说明在低温条件下贮藏可以有效延缓鲜参切片中菌落总数的增长,并且在-2℃条件下,鲜参切片菌落总数的增长速度最小。

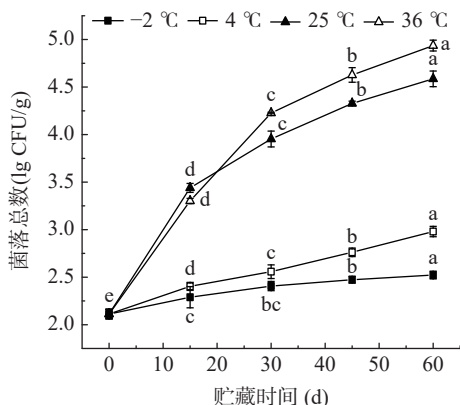


图6 贮藏温度对鲜参切片菌落总数的影响

Fig.6 Effect of storage temperature on the total number of colonies in fresh-cut ginseng slices

注:不同小写字母表明差异显著(P<0.05)。

### 2.7 鲜参切片货架期预测模型的建立

2.7.1 鲜参切片菌落总数的动力学分析 检测不同贮藏时间、不同贮藏温度条件下鲜参切片的菌落总数,应用一级反应动力学模型对菌落总数进行线性回归分析,相关参数见表6。各回归方程系数均大于0.91,表明该指标建立的一级反应动力学拟合曲线具有较高的拟合度。

表6 鲜参切片菌落总数一级反应动力学模型参数  
Table 6 Parameters of the first-order kinetic model of the total number of colonies in fresh-cut ginseng slices

贮藏温度(℃)	回归方程	变化速率常数	R <sup>2</sup>
-2	y=0.0066x+2.1628	0.0066	0.9305
4	y=0.0140x+2.1463	0.0140	0.9918
25	y=0.0396x+2.4581	0.0396	0.9186
36	y=0.0452x+2.4668	0.0452	0.9117

2.7.2 不同贮藏温度下鲜参切片菌落总数的 Arrhenius 方程的建立 由一级反应动力学模型得到在-2、4、25、36℃菌落总数的变化速率常数k,由lnk对贮藏温度的倒数1/T作图得到线性方程为lnk=-4146.1×1/T+10.496, r<sup>2</sup>=0.9379。该方程联合Arrhenius方程(式4)计算得: E<sub>a</sub>=34470.68 J/mol, k<sub>0</sub>=36170.53。将E<sub>a</sub>与k<sub>0</sub>分别带入公式(5)中,得到以鲜参切片菌落总数为指标的货架期预测模型公式(6)。

$$SL = \frac{\ln A - \ln A_0}{3.617 \times 10^4 \times e^{-\frac{34470.68}{R \times T}}} \quad \text{式(6)}$$

2.7.3 联合保鲜鲜参切片货架期模型的验证 由表7可知,在-2、4℃贮藏条件下,鲜参切片的货架期实测值分别为520、380d,预测值分别为550、

395d,实际测量值与预测值的相对误差分别为5.77%、4.87%,均低于10%,表明本研究建立的联合保鲜鲜参切片的货架期模型具有较好的预测性。

表7 不同贮藏温度下鲜参切片货架期的预测值和实测值  
Table 7 Predicted and measured shelf-life of fresh ginseng slices at different storage temperatures

贮藏温度(℃)	货架期预测值(d)	货架期实测值(d)	相对误差(%)
-2	550	520	5.77
4	395	380	4.87

注:相对误差(%)=(预测值-实测值)/实测值×100。

### 3 结论

本研究确定了鲜参切片的最佳复合保鲜贮藏工艺为:酸性氧化电位水杀菌→真空包装→低温等离子体杀菌→近冰温贮藏。通过在不同温度-2、4、25、36℃下的贮藏试验,结果表明低温保藏(-2和4℃)有效地抑制了鲜参切片菌落总数的增长、水分和人参皂苷含量的下降,延缓鲜参切片颜色的变化,延长了货架期,保藏60d后,鲜参切片中人参皂苷Rg1、Re和Rb1的含量上升。通过基于菌落总数变化的一级反应动力学模型和Arrhenius方程,建立鲜参切片的货架期预测模型,该模型可较好地预测鲜参切片的货架期。本联合保鲜贮藏方法为提高鲜参切片的质量、延长其货架期,防止品质劣化提供一定的新思路。

#### 参考文献

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 2020年版[M]. 一部. 北京: 中国医药科技出版社, 2020. [Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese Pharmacopoeia; 2020[M]. I. Beijing: China Medical Science Press, 2020.]

[2] 朱海林. 野山参化学成分及抗慢性阻塞性肺疾病活性的研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2020. [ZHU H L. Study on chemical constituents and anti-COPD activity of wild ginseng[D]. Jilin: Jilin University, 2020.]

[3] MAN K H, KUK H K. Antioxidant effects of raw ginseng, soft red ginseng, and red ginseng sap[J]. Journal of Life Science, 2020, 30(9): 763-771.

[4] SOO H P, SANG W C, JIN T H, et al. Clinical studies of panax ginseng and red ginseng on chronic metabolic diseases: Literature review[J]. KSBB Journal, 2021, 36(3): 181-191.

[5] 范圣东. 人参皂苷Rb1改善术后疲劳模型大鼠骨骼肌炎症反应和肌肉萎缩的机制研究[D]. 合肥: 安徽医科大学, 2019. [FAN S D. Mechanism of ginsenoside Rb1 in improving inflammatory response and muscle atrophy in postoperative fatigue model rats[D]. Anhui Medical University, 2019.]

[6] YI Y S. New mechanisms of ginseng saponin-mediated anti-inflammatory action via targeting canonical inflammasome signaling pathways[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2021, 278(3): 114292.

[7] HOU W, WANG Y, ZHENG P, et al. Effects of ginseng on neurological disorders[J]. Frontiers in Cellular Neuroscience, 2020, 14: 55-66.

[8] LI M, WANG X, WANG Y, et al. Strategies for remodeling the tumor microenvironment using active ingredients of ginseng-A

- promising approach for cancer therapy[J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, 12: 797634–797648. .
- [ 9 ] 谢洪, 刘良明, 陈琳玲. 不同贮藏人参及西洋参超氧化物歧化酶活力比较[J]. 实用中医药杂志, 2014, 30(5): 470–471. [ XIE H, LIU L M, CHEN L L. Comparison of superoxide dismutase activity of ginseng and American ginseng under different storage conditions[J]. *Journal of Practical Traditional Chinese Medicine*, 2014, 30(5): 470–471. ]
- [ 10 ] 贾璐璐, 李琼, 王慧斌, 等. 不同基质对低温保鲜人参的影响[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(13): 2449–2452. [ JIA L L, LI Q, WANG H B, et al. Effect of different substrates on preservation of ginseng at low temperature[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2017, 42(13): 2449–2452. ]
- [ 11 ] 李媛, 王允, 张国珍, 等. 不同贮藏处理对西洋参根品质及成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2010, 35(2): 145–148. [ LI Y, WANG Y, ZHANG G Z, et al. Effect of different treatment methods on quality of American ginseng roots[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2010, 35(2): 145–148. ]
- [ 12 ] 秦晓晔, 李银清, 陶贵斌, 等. 不同贮藏条件下人参中 5 种酶的活力变化研究[J]. 中华中医药杂志, 2014, 29(8): 2621–2623. [ QIN X Y, LI Y Q, TAO Y B, et al. Research on activity change of five kinds of enzymes in ginseng under different storage conditions[J]. *China Journal of Traditional Chinese Medicine and Pharmacy*, 2014, 29(8): 2621–2623. ]
- [ 13 ] 王聪. 淀粉基人参涂膜保鲜剂的研制[D]. 长春: 吉林农业大学, 2014. [ WANG C. Preparation of starch - based coating preservative for ginseng[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2014. ]
- [ 14 ] 乔一珈, 赵权. 中药保鲜剂对鲜人参保鲜过程酶系活性变化的影响[J]. 现代食品, 2020, 3(5): 170–172, 176. [ QIAO Y J, ZHAO Q. Effect of traditional Chinese medicine preservative on enzyme system activity during fresh ginseng preservation[J]. *Modern Food*, 2020, 3(5): 170–172, 176. ]
- [ 15 ] 李亚丽, 王荣灿, 曲正义, 等. 脱落酸对贮藏鲜参的生理活性及质量指标的影响[J]. 食品工业, 2021, 42(10): 193–197. [ LI Y L, WANG R C, QU Z Y, et al. Effects of abscisic acid on physiological activity and quality indexes of stored fresh ginseng[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(10): 193–197. ]
- [ 16 ] JIN T Z, HUANG M, NIEMIRA B A, et al. Microbial reduction and sensory quality preservation of fresh ginseng roots using nonthermal processing and antimicrobial packaging[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(1): e12871–e12880. ]
- [ 17 ] GAO K, CHEN J, WANG Y, et al. Effects of  $^{60}\text{Co}-\gamma$  and electron beam irradiation on storage quality of panax ginseng[J]. *Food & Bioprocess Technology*, 2018, 11(9): 1627–1638. ]
- [ 18 ] HU W Z, JIANG A L, QI H P, et al. Physiological behavior and quality of fresh ginseng stored in modified atmospheres generated by several package films[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2013, 51(12): 3862–3869. ]
- [ 19 ] JIN T Z, HUANG M Y, NIEMIRA B A, et al. Shelf-life extension of fresh ginseng roots using sanitiser washing, edible antimicrobial coating and modified atmosphere packaging[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2016, 51(9): 2132–2139. ]
- [ 20 ] GAO K, LIU Z B, CHEN J B, et al. Effects of different substrates on low - temperature storage of fresh ginseng[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2019, 99(14): 6258–6266. ]
- [ 21 ] 牛耀星, 王霆, 毕阳, 等. 温度对金针菇贮藏品质的影响及货架期的预测模型[J]. 食品科学, 2021, 42(1): 264–271. [ NIU Y X, WANG T, BI Y, et al. Effect of temperature on storage quality of *Flammulina velutifolia* and prediction model of shelf life[J]. *Food Science*, 2021, 42(1): 264–271. ]
- [ 22 ] 陈月圆, 赵武奇, 贾梦科, 等. 低温等离子体处理的鲜切猕猴桃片货架期预测模型[J]. 中国食品学报, 2022, 22(1): 179–188. [ CHEN Y Y, ZHAO W Q, JIA M K, et al. Prediction model of shelf life of fresh cut kiwi slices treated with low temperature plasma[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(1): 179–188. ]
- [ 23 ] LI D Y, XIE H K, LIU Z Y, et al. Shelf-life prediction and changes in lipid profiles of dried shrimp (*Penaeus vannamei*) during accelerated storage[J]. *Food Chemistry*, 2019, 297: 124951–124960. ]
- [ 24 ] 王红丽, 王锡昌, 施文正, 等. 水产品贮运过程中货架期预测的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(15): 261–268. [ WANG H L, WANG X C, SHI W Z, et al. Research progress on shelf life prediction of aquatic products during storage and transportation[J]. *Food Science*, 2021, 42(15): 261–268. ]
- [ 25 ] 闫哲, 曾少葵, 欧莉蓉, 等. 金鲳鱼软罐头货架期预测[J]. 食品工业, 2021, 42(5): 110–114. [ YAN Z, ZENG S K, OU L R, et al. Shelf life prediction of golden pomfret soft canned fish[J]. *The Food Industry*, 2021, 42(5): 110–114. ]
- [ 26 ] 雷会宁, 魏益民, 魏帅, 等. 冷却猪肉货架期预测模型建立及验证[J]. 中国食品学报, 2018, 18(10): 187–194. [ LEI H N, WEI Y M, WEI S, et al. Establishment and verification of shelf life prediction model for chilled pork[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(10): 187–194. ]
- [ 27 ] 徐艳阳, 刘辉, 霍冰洋, 等. 充氮包装对鲜参品质的影响及货架期预测[J]. 食品科学, 2018, 39(17): 236–240. [ XU Y Y, LIU H, HUO B Y, et al. Quality change and shelf-life prediction of nitrogen-packed fresh ginseng[J]. *Food Science*, 2018, 39(17): 236–240. ]
- [ 28 ] 徐艳阳, 鲁海玲, 陈云洁, 等. 酸性氧化电位水处理对鲜参切片的杀菌效果及色泽的影响[J]. 食品工业科技, 2022, 43(22): 345–352. [ XU Y Y, LU H L, CHEN Y J, et al. Influences of acidic electrolyzed-oxidizing water treatment on sterilization effects and surface color of fresh-cut ginseng slices[J]. *Science and Technology of Food industry*, 2022, 43(22): 345–352. ]
- [ 29 ] 徐艳阳, 鲁海玲, 陈云洁, 等. 低温等离子体处理对鲜参切片的杀菌效果及表面色泽的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(10): 3090–3097. [ XU Y Y, LU H L, CHEN Y J, et al. Influences of low temperature plasma treatment on sterilization effects and surface color of fresh-cut ginseng slices[J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2022, 13(10): 3090–3097. ]
- [ 30 ] LAIDLER K J. The development of the Arrhenius equation [J]. *Journal of Chemical Education*, 1984, 61(6): 494–498. ]
- [ 31 ] LIU Z, LI Y, LI X, et al. The effects of dynamic changes of malonyl ginsenosides on evaluation and quality control of panax ginseng C. A. Meyer[J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2012, 64-65(4): 56–63. ]