

猪肉脯贮藏品质变化及货架期预测模型

陈潇荷¹ 钱平² 黄宁¹ 杨冉^{3,4} 屈凌波^{4,5} 赵昌成^{1,4} 李春霞²

(1. 郑州大学生命科学学院, 河南 郑州 450001; 2. 军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所, 北京 100010; 3. 郑州大学化学学院, 河南 郑州 450001; 4. 中原食品实验室, 河南 漯河 462000; 5. 郑州大学化工学院, 河南 郑州 450001)

摘要: [目的]探究猪肉脯在不同温度贮藏条件下的品质变化规律, 预测猪肉脯的货架期。[方法]研究猪肉脯在不同温度(25, 35, 45, 55 °C)贮藏条件下的硬度、色泽(L^* 值、 a^* 值、 b^* 值)和感官品质的变化情况, 并对各个指标进行 Pearson 相关性分析, 采用动力学模型拟合关键指标, 结合阿伦尼乌斯(Arrhenius)方程和 Q_{10} 模型建立货架期预测模型。[结果]在 25, 35, 45, 55 °C 贮藏条件下猪肉脯的 a^* 值分别从 14.79 ± 0.08 降低到 9.99 ± 0.10 , 6.88 ± 0.15 , 4.90 ± 0.25 , 4.11 ± 0.06 。通过 Pearson 相关性分析, 选择 a^* 值作为关键因子建立 Arrhenius 预测模型, 所得的一级动力学方程为 $A = A_0 e^{-10169.881.35 t e^{-6.604.58/T}}$, 在 45 °C 贮藏条件下猪肉脯的货架期预测模型相对误差小于 $\pm 1\%$ 。[结论]随着贮藏时间的延长, 猪肉脯的品质逐渐下降, 主要表现为色度的改变, 且温度越高, 下降的速率越快。以 a^* 值为关键指标建立的货架期预测模型较为可靠。根据模型预测出常温(25 °C)条件下猪肉脯的理论货架期为 543 d。

关键词: 猪肉脯; 色泽; 贮藏; 货架期; 预测模型

Prediction model of storage quality change and shelf life of dried pork slice

CHEN Xiaohe¹ QIAN Ping² HUANG Ning¹ YANG Ran^{3,4} QU Lingbo^{4,5}
ZHAO Changcheng^{1,4} LI Chunxia²

(1. School of Life Science, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Institute of Munitions Engineering, Academy of Systems Engineering, Academy of Military Sciences, Beijing 100010, China; 3. School of Chemistry, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China; 4. Zhongyuan Food Laboratory, Luohe, Henan 462000, China; 5. School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: [Objective] To investigate the quality changes of dried pork slices under different temperature storage conditions and to predict their shelf life. [Methods] Hardness, color parameters (L^* value, a^* value, b^* value), and sensory quality of dried pork slices were investigated under storage at 25, 35, 45, and 55 °C. Pearson correlation analysis was performed for each index, and the key index was fitted using a dynamic model. Combining the Arrhenius equation with the Q_{10} model, a shelf life prediction model was established. [Results] Under storage at 25, 35, 45, and 55 °C, the a^* value of dried pork slices decreased from 14.79 ± 0.08 to 9.99 ± 0.10 , 6.88 ± 0.15 , 4.90 ± 0.25 , and 4.11 ± 0.06 , respectively. Pearson correlation analysis identified a^* value as the key factor for establishing the Arrhenius prediction model. The obtained first-order kinetic equation was $A = A_0 e^{-10169.881.35 t e^{-6.604.58/T}}$. At 45 °C, the relative error of the shelf life prediction model was less than $\pm 1\%$. [Conclusion] With prolonged storage, the quality of dried pork slices gradually declined, mainly reflected by changes in color, and the higher the temperature, the faster the decline. The shelf life prediction model based on a^* value as the key index was reliable. According to the model, the theoretical shelf life of dried pork slices at room temperature (25 °C) is 543 days.

通信作者: 钱平(1970—), 男, 军事科学院系统工程研究院军需工程技术研究所高级工程师, 博士。E-mail: qianping19700721@163.com

赵昌成(1991—), 男, 郑州大学副教授, 博士。E-mail: zhaocc91@163.com

收稿日期: 2024-08-27 **改回日期:** 2025-07-12

引用格式: 陈潇荷, 钱平, 黄宁, 等. 猪肉脯贮藏品质变化及货架期预测模型[J]. 食品与机械, 2025, 41(10): 83-93.

Citation: CHEN Xiaohe, QIAN Ping, HUANG Ning, et al. Prediction model of storage quality change and shelf life of dried pork slice[J]. Food & Machinery, 2025, 41(10): 83-93.

Keywords: dried pork slice; color; storage; shelf life; prediction model

猪肉脯是一种中式传统风味的肉制品,具有色泽鲜艳、味道咸中带微甜、芳香浓郁、食用方便、耐贮藏、运输方便等优点。猪肉脯是新鲜猪肉经过去筋膜、切片、腌制、烘烤、压平切片、包装等工序加工而成^[1]。在高温烤制、运输和贮藏过程中猪肉脯会受到高温、光照、酶等多种因素的影响,导致其脂质和蛋白质发生氧化反应,脂质氧化产生的醛类、酮类等物质是导致猪肉脯感官品质恶化的主要因素^[2],肌红蛋白、红曲红色素等物质的氧化降解会使猪肉脯颜色发生变化^[3],而且蛋白质的部分分解还会导致猪肉脯硬度和咀嚼性能下降^[4],最终影响产品的色泽、风味及其营养价值^[5]。

食品的货架期是食品生产和销售过程中非常重要的一个指标。对于货架期较长的食品,传统的货架期模拟试验方法由于其复杂性和破坏性,会耗费大量的时间^[6]。加速货架期试验是将食品贮藏在选定的恶劣环境中,定期测量食品质量关键指标的变化情况,进而推算出食品在常规贮藏条件下的货架期。该方法基于 Arrhenius 方程等化学动力学模型,通过提高温度、湿度或光照等环境条件加速食品品质劣变,从而在较短时间内获得与长期贮藏等效的变质数据^[7]。相较于传统方法,加速货架期试验显著缩短了试验周期,降低了人力与物力的消耗,同时为食品企业优化生产工艺、包装设计和贮藏条件提供了科学依据^[8]。由于贮藏期间影响不同类型的产品品质劣变的因素不同,因此选择合适指标建立货架期模型,才能保证模型准确、有效。Zhao 等^[9]建立了不同贮藏温度下鲜切马铃薯货架期预测模型;Sylvain 等^[10]对不同贮藏温度下咸水对虾品质的变化进行评估并预测主要腐败菌的生长以及产品的货架期与贮藏温度的关系;刘恒等^[11]以 SOD 活性作为关键指标建立了复合酵素的货架期模型;Elisabetta 等^[12]以过氧化值为关键指标预测了添加不同抗氧化剂的无麸质面包干在正常贮藏条件(20,25,30℃)下的货架期;胡力等^[13]利用总活菌数建立了鸡肉酱的预测模型。目前,猪肉脯的研究主要集中于加工工艺条件对其品质的影响以及新型产品的研发上,而有关猪肉脯在贮藏过程中品质变化的研究相对较少,缺乏更广温度范围(如 0~60℃)的系统性对比,同时现有猪肉脯货架期预测模型因温度范围狭窄(仅 4,25℃)导致实际应用误差较大。

研究拟以真空包装猪肉脯为研究对象,通过加速货架期试验,探究其在不同贮藏温度(25,35,45,55℃)下色泽、硬度和感官品质的变化规律。通过 Pearson 相关性分析建立各指标的联系,确定猪肉脯货架期模型预测的关

键因子,并结合化学动力学方程和 Arrhenius 方程建立货架期预测模型,以期对猪肉脯的贮藏提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

铝箔真空包装猪肉脯:双鱼食品有限公司。

1.2 仪器与设备

摄影机:艾博森 MODEL:D1 型,数魅优配(深圳)科技有限公司;

质构仪:TA.Touch 型,上海保圣实业发展有限公司;

色差仪:NR10QC 型,三恩时智能科技有限公司;

电热恒温水浴锅:HWS-12 型,上海一恒科学仪器有限公司;

分析天平:YP3002 型,上海佑科仪器仪表有限公司;

恒温恒湿培养箱:LRH-250-SE 型,广州沪瑞明仪器有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品处理 将猪肉脯置于不同温度下贮藏,详见表 1。

表 1 猪肉脯贮藏温度和贮藏时间
Table 1 Storage temperature and storage time of dried pork slices

贮藏温度/℃	贮藏时间/d
25	0,30,60,90,120,150,180
35	0,20,40,60,80,100,120,140,160,180
45	0,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100,110,120,130
55	0,5,10,15,20,25,30,35,40,45,50

1.3.2 外观测定 利用摄影机在特定位置拍摄,观察外观颜色变化。

1.3.3 质构特性测定 利用质构仪进行质构检测。下压位移为 2 mm,测前速度为 1.0 mm/s,测中速度为 0.5 mm/s,测后速度为 1.0 mm/s,质构检测力为 0.15 N,重复 5 次取平均值^[14-15]。

1.3.4 色泽测定 根据文献[16-17]修改如下:将猪肉脯平放,色差仪用白色校正板校正后,检测样品 L^* 、 a^* 、 b^* 值参数,重复 3 次取平均值。

1.3.5 感官评定 根据 GB/T 22210—2008《肉与肉制品感官评定规范》修改如下:评价小组由 8 人组成,从色泽、组织、口感和香味方面对猪肉脯进行感官评价,评价标准见表 2。

1.3.6 动力学方程的建立 对各指标进行 Pearson 相关

表2 猪肉脯感官评价表

Table 2 Sensory evaluation of dried pork slices

指标	感官指标
外观(15分)	包装袋有无霉斑:无(5分),有(0~4分) 样品表面有无霉斑或异常外观:无(5分),有(0~4分) 肉片粘连状态:不粘连(4~5分),粘连但能分开(2~3分),不能分开(0~1分)
色泽(20分)	色泽棕红色:亮(11~20分),暗(0~10分)
气味(35分)	酱香味纯正,有天然肉香:香味纯正(21~35分),味淡、无异味(11~20分),有少许异味(1~10分),异味重(0分)
口感(30分)	硬度:硬度适中(11~20分),偏硬或偏软(6~10分),硬度过大或过小(0~5分) 味道:咸甜适口(7~10分),略感不适(1~6分),难以下咽(0分)

性分析,选择引起感官评分变化的关键指标,结合零级或一级动力学方程对关键指标进行回归分析,计算反应的速率常数 k 。多数食品品质的变化都遵循零级或一级动力学^[18],其方程分别表示为:

零级动力学:

$$A = A_0 - kt, \quad (1)$$

一级动力学:

$$A = A_0 e^{-kt}, \quad (2)$$

式中:

A_0 、 A ——样品的初始指标值和 t 时间后的品质指标值;

k ——反应速率常数;

t ——猪肉脯贮藏时间,d。

1.3.7 Arrhenius模型构建 Arrhenius方程反映出食品贮藏品质指标的变化速率常数 k 与热力学温度 T 之间的关系^[19]。Arrhenius方程:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}, \quad (3)$$

式中:

k ——贮藏品质指标变化速率常数;

k_0 ——方程的频率因子;

E_a ——贮藏品质指标变化反应的活化能,kJ/mol;

T ——热力学温度,K;

R ——气体常数,8.314 J/(mol·K)。

将式(3)两边同时取对数,得到式(4)。

$$\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT}. \quad (4)$$

由式(4)可知, $\ln k$ 与 $1/T$ 存在线性关系。通过猪肉脯在25,35,45,55℃下得到的不同 k 值,可以拟合出斜率为 $-E_a/R$ 、截距为 $\ln k_0$ 的直线,从而计算出反应活化能 E_a 和

频率因子 k_0 。其中 k_0 与 E_a 是与反应系统物质本身性质相关的经验常数。将反应活化能 E_a 和频率因子 k_0 代入式(2),进而求得不同温度下猪肉脯的预测货架期。

1.3.8 Q_{10} 模型构建 参照周晓璐等^[20]的方法根据表1的贮藏时间和贮藏温度对猪肉脯的特定指标进行测定,在不同温度条件下贮藏直至感官不可接受的时间即为其实际货架期,利用 Q_{10} 货架期预测模型,预测不同贮藏温度下的货架期。 Q_{10} 货架期预测模型公式:

$$Q_{10} = \frac{Q_T}{Q_{10}^{(T_0 - T)/10}}, \quad (5)$$

式中:

Q_{10} ——温度在 T_0 和 T 时的货架期比率;

Q_T ——待测温度下预测的货架期;

Q_{T_0} ——在 T_0 温度时得到的货架期。

将式(5)与Arrhenius方程相结合,可以得到 Q_{10} 的计算公式为:

$$Q_{10} = \exp \left[\frac{E_a \times 10}{R_0 T (T + 10)} \right]. \quad (6)$$

将试验数据代入式(5)和式(6),即可预测出不同贮藏温度下的货架期。

1.4 数据分析

所有试验均重复3次,结果以平均数±标准差表示,并通过SPSS 25.0软件采用单因素方差分析法(ANOVA)进行显著性分析, $P < 0.05$ 为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同温度贮藏条件下猪肉脯外观颜色变化

如图1所示,在贮藏过程中猪肉脯的颜色由亮红色逐渐变为黑褐色,且随着温度的上升颜色变化越快。在25℃下贮藏时颜色变化缓慢,前120 d猪肉脯颜色基本保持不变;在35℃下贮藏180 d时猪肉脯的外观与在45℃下贮藏60 d的相似;45℃下贮藏130 d和55℃贮藏50 d的猪肉脯完全变成黑褐色,已不被接受,到达贮藏终点。

2.2 不同温度贮藏条件下猪肉脯的硬度变化

如图2所示,在35,45,55℃贮藏条件下猪肉脯的硬度先升后降,35℃贮藏条件下猪肉脯的硬度在第120天达到最大值,为(26.396±0.269) N;45℃贮藏条件下猪肉脯的硬度在第50天达到最大值,为(22.844±0.558) N;55℃贮藏条件下在第30天达到最大值,为(26.757±0.383) N。而在25℃贮藏条件下猪肉脯的硬度呈持续上升趋势。样品硬度的变化主要归因于其水分含量和蛋白质的状态^[21]。随着贮藏时间的延长,蛋白质中维持 α -螺旋结构的氢键减弱, β -折叠结构含量降低,会促使蛋白质分子结构展开和疏水区域暴露,导致蛋白质变性程度增加,猪肉脯硬度升高^[22]。

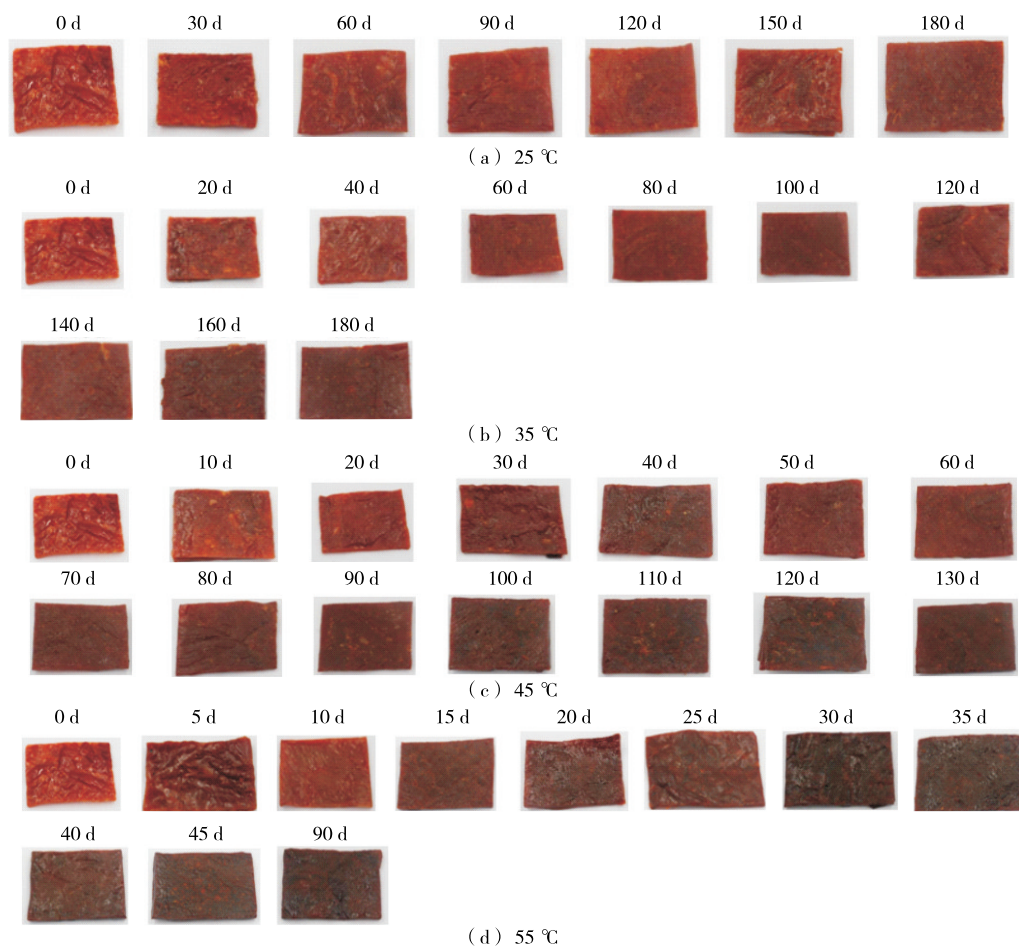


图 1 不同温度贮藏条件下猪肉脯的外观变化

Figure 1 Changes in the appearance of dried pork slices under different temperature storage conditions

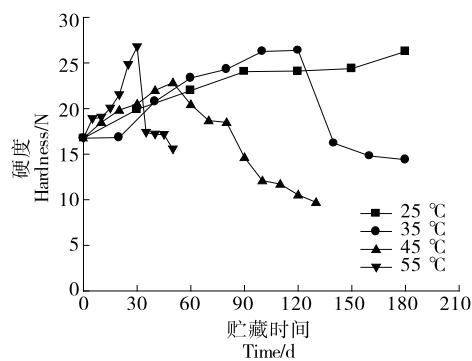


图 2 不同温度贮藏条件下猪肉脯的硬度变化

Figure 2 Changes of hardness of dried pork slices under different temperature storage conditions

2.3 不同温度贮藏条件下猪肉脯的色度变化

由图 3 可知, 25, 35, 45, 55 °C 下猪肉脯的 L^* 值整体上呈下降趋势, 且贮藏温度越高, L^* 值随贮藏时间的变化越显著。在 25 °C 贮藏条件下猪肉脯的 L^* 从 33.04 ± 0.05 降低到 28.33 ± 0.14 , 在 35 °C 贮藏条件下猪肉脯的 L^* 值降低

到 26.39 ± 0.28 , 在 45 °C 贮藏条件下猪肉脯的 L^* 值降低到 25.15 ± 0.23 , 在 55 °C 贮藏条件下猪肉脯的 L^* 值降低到 24.45 ± 0.25 , 并且不同温度贮藏过程中猪肉脯的 L^* 值随时间变化显著降低 ($P < 0.05$)。

由图 4 可知, 25, 35, 45, 55 °C 下猪肉脯的 a^* 值整体上

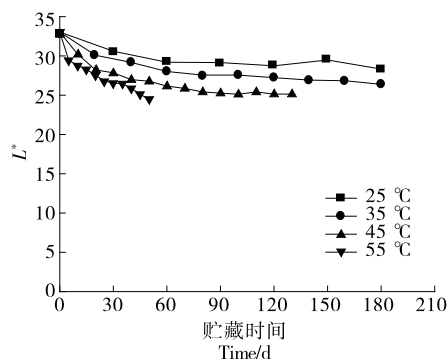


图 3 不同温度贮藏条件下猪肉脯的 L^* 值变化

Figure 3 Changes of L^* value of dried pork slices under different temperature storage conditions

呈下降趋势,且贮藏温度越高, a^* 值随贮藏时间的变化越显著。在25℃贮藏条件下猪肉脯的 a^* 值从 14.79 ± 0.08 降低到 9.99 ± 0.10 ,在35℃贮藏条件下猪肉脯的 a^* 值降低到 6.88 ± 0.15 ,在45℃贮藏条件下猪肉脯的 a^* 值降低到 4.90 ± 0.25 ,在55℃贮藏条件下猪肉脯的 a^* 值降低到 4.11 ± 0.06 ,并且不同温度贮藏过程中猪肉脯的 a^* 值随时间变化显著降低($P < 0.05$)。这是由于 L^* 值和 a^* 值的变化与猪肉脯中肌红蛋白被氧化有关,脂肪氧化产生的过氧化物导致蛋白发生交联反应产生褐变,氧合肌红蛋白和肌红蛋白被氧化成高铁肌红蛋白,使猪肉脯形成难以接受的棕褐色^[23]。

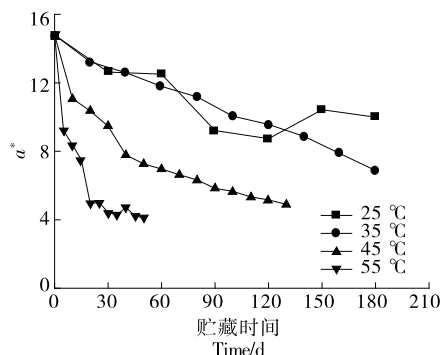


图4 不同温度贮藏条件下猪肉脯的 a^* 值变化

Figure 4 Changes of a^* value of dried pork slices under different temperature storage conditions

由图5可知,25,35,45,55℃下猪肉脯的 b^* 值整体上呈下降趋势,且贮藏温度越高, b^* 值随贮藏时间的变化越显著。在25℃贮藏条件下猪肉脯的 b^* 值从 10.69 ± 0.28 降低到 8.76 ± 0.23 ,在35℃贮藏条件下猪肉脯的 b^* 值降低到 7.21 ± 0.17 ,在45℃贮藏条件下猪肉脯的 b^* 值降低到 4.84 ± 0.45 ,在55℃贮藏条件下猪肉脯的 b^* 值降低到 4.04 ± 0.08 ,并且不同温度贮藏过程中猪肉脯的 b^* 值随时间变化显著降低($P < 0.05$)。 b^* 值降低主要是由于蛋白质

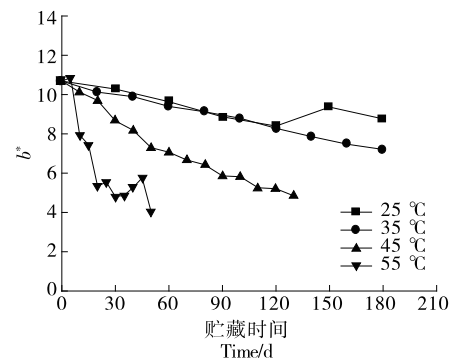


图5 不同温度贮藏条件下猪肉脯的 b^* 值变化

Figure 5 Changes of b^* value of dried pork slices under different temperature storage conditions

在氧化过程中发生聚集和交联,从而显著影响了肉品的黄度^[24]。

综合分析4种贮藏温度条件下样品 L^* 、 a^* 、 b^* 值的变化过程可知,高温会破坏猪肉脯良好的色泽,同时温度越高蛋白质氧化速度越高,在一定程度上对猪肉脯的色泽带来不良的影响。

2.4 不同温度贮藏条件下猪肉脯的感官变化

表3~表6显示了在不同温度贮藏条件下猪肉脯的感官变化,其中25℃下的猪肉脯感官品质保持较好,贮藏180 d后猪肉脯外观完整,色泽红亮,但风味较贮藏第0天样品的明显变淡,口感变硬。而35,45,55℃下贮藏的猪肉脯的色泽逐渐由亮红色转变为黑褐色,且口感逐渐变差。随着时间的延长,不同温度下贮藏的样品的感官评分均显著降低($P < 0.05$),其中45,55℃下贮藏的样品的色泽和气味劣变速度均较快,分别在第130天和第50天变得不可接受。说明随着贮藏温度的升高和贮藏时间的延长,感官综合评分逐渐降低,贮藏温度越高,猪肉脯感官品质劣变速度越快。

2.5 相关性分析

由表7~表10可知,不同贮藏温度下色泽与其他指标

表3 25℃贮藏条件下猪肉脯的感官品质[†]

Table 3 Sensory evaluation of dried pork slices at 25 °C

贮藏时间/d	色泽	气味	口感	外观	总评分
0	15.00±0.00 ^a	20.00±0.00 ^a	35.00±0.00 ^a	30.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
30	13.63±0.74 ^b	16.38±1.06 ^b	31.63±1.30 ^b	25.00±1.51 ^b	86.63±1.85 ^b
60	13.56±0.50 ^b	16.13±1.73 ^b	30.50±1.41 ^b	24.50±2.00 ^b	84.69±3.45 ^{bc}
90	13.00±0.76 ^{bc}	15.50±1.51 ^c	28.63±1.06 ^b	25.75±1.83 ^{bc}	82.88±2.10 ^{cd}
120	12.56±0.90 ^{bc}	15.38±1.69 ^{cd}	27.25±2.12 ^b	25.50±1.60 ^{cd}	80.69±3.95 ^{de}
150	12.69±1.44 ^c	14.13±1.27 ^d	26.75±1.83 ^b	25.25±1.91 ^{bcd}	75.81±10.17 ^{ef}
180	11.94±1.05 ^c	14.00±1.69 ^d	25.75±1.83 ^b	24.75±1.67 ^d	76.44±3.97 ^f

[†] 同列字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

表 4 35℃贮藏条件下猪肉脯的感官品质[†]
Table 4 Sensory evaluation of dried pork slices at 35℃

贮藏时间/d	色泽	气味	口感	外观	总评分
0	15.00±0.00 ^a	20.00±0.00 ^{ab}	35.00±0.00 ^{abc}	30.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
20	13.88±0.64 ^{ab}	16.88±1.13 ^{ab}	29.00±0.93 ^a	20.63±0.92 ^b	80.38±1.30 ^b
40	13.50±0.53 ^{abc}	16.50±1.20 ^a	29.75±3.96 ^{ab}	19.50±1.20 ^b	79.25±4.53 ^b
60	12.75±0.89 ^{bcd}	15.63±1.41 ^{ab}	28.88±1.36 ^{abc}	19.13±2.03 ^b	76.38±3.70 ^c
80	12.25±1.04 ^{cd}	14.75±1.04 ^{ab}	28.63±1.19 ^{abc}	17.88±2.03 ^b	73.50±2.27 ^d
100	11.88±0.83 ^d	14.13±1.25 ^{ab}	27.63±1.41 ^{abc}	16.38±1.41 ^b	70.00±1.93 ^c
120	12.00±1.10 ^d	14.38±1.41 ^{ab}	26.25±1.67 ^{abc}	15.75±1.58 ^b	68.38±1.79 ^{ef}
140	11.81±0.80 ^d	13.88±2.23 ^{ab}	25.75±1.39 ^{abc}	15.25±1.91 ^b	66.69±2.80 ^f
160	11.81±1.03 ^e	12.13±2.23 ^{ab}	24.75±1.67 ^{bc}	14.63±1.69 ^b	63.31±4.16 ^g
180	11.31±0.70 ^e	11.25±1.91 ^b	24.00±1.69 ^c	13.38±1.41 ^b	59.94±3.05 ^h

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 5 45℃贮藏条件下猪肉脯的感官品质[†]
Table 5 Sensory evaluation of dried pork slices at 45℃

贮藏时间/d	色泽	气味	口感	外观	总评分
0	15.00±0.00 ^a	20.00±0.00 ^a	35.00±0.00 ^a	30.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
10	13.50±0.93 ^b	15.88±1.13 ^b	29.38±1.06 ^b	23.38±1.30 ^b	82.13±2.53 ^b
20	12.75±0.71 ^c	12.13±0.83 ^c	25.38±1.30 ^c	20.50±1.20 ^{bc}	70.75±2.60 ^c
30	12.75±0.71 ^d	10.63±1.69 ^c	25.13±1.13 ^d	16.75±1.04 ^{bc}	65.25±2.38 ^d
40	12.38±0.52 ^d	10.63±1.41 ^d	21.88±1.46 ^d	15.88±1.36 ^c	60.75±2.05 ^e
50	11.44±0.42 ^{de}	9.25±3.88 ^e	20.13±1.13 ^e	14.38±0.92 ^d	55.19±3.24 ^f
60	10.63±0.69 ^{de}	9.13±0.64 ^{ef}	19.00±1.07 ^{ef}	13.63±1.06 ^{de}	52.38±0.74 ^g
70	10.19±0.84 ^e	8.88±0.83 ^f	18.25±1.04 ^f	13.00±0.76 ^e	50.31±0.88 ^{gh}
80	9.25±1.25 ^e	8.81±0.70 ^{fg}	17.88±1.25 ^{fg}	12.63±1.06 ^f	48.56±1.70 ^h
90	8.50±0.93 ^{ef}	8.38±0.74 ^{gh}	16.75±1.16 ^{gh}	11.88±0.83 ^f	45.50±1.60 ⁱ
100	7.25±1.04 ^{fg}	7.13±1.13 ^{hi}	16.25±1.04 ^h	11.50±0.93 ^g	42.13±2.36 ^j
110	6.50±1.07 ^g	6.88±0.83 ⁱ	15.13±0.83 ⁱ	9.88±0.83 ^g	38.38±2.13 ^k
120	7.25±1.28 ^{gh}	6.00±1.31 ^j	13.25±1.67 ⁱ	9.88±1.36 ^g	36.38±2.77 ^k
130	7.25±1.04 ^h	5.25±1.04 ^k	11.50±1.41 ⁱ	9.75±1.28 ^g	33.75±2.55 ^l

† 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

的 Pearson 相关系数较高,因此选择色泽作为猪肉脯在贮藏期品质变化与货架期模型预测的关键因子。

2.6 猪肉脯预测货架期动力学模型的建立

2.6.1 零级和一级动力学模型 将各贮藏温度下随时间变化的猪肉脯的色度值进行回归分析,得到的零级和一级动力学回归方程见表 11 和表 12。综合分析可知,在不同贮藏温度下猪肉脯色泽指标中 a^* 值和 b^* 值的一级动力学回归系数较高,货架期动力学模型采用一级动力学回归方程进行构建,其中 a^* 值回归系数较 b^* 值的高。因此,选择色泽中的 a^* 值作为猪肉脯在贮藏期品质变化与货架期模型预测的关键因子,用于预测猪

肉脯的货架期。

2.6.2 Arrhenius 方程 利用 a^* 值的速率常数 k 可以通过 Arrhenius 方程预测猪肉脯的货架期。在贮藏温度 25, 35, 45, 55℃下猪肉脯 a^* 值的变化速率常数 k 分别为 -0.003 , -0.004 , -0.008 , -0.027 。根据 Arrhenius 方程 $\ln k = \ln k_0 - \frac{E_a}{RT}$ 作图,结果如图 6 所示。

a^* 值线性方程为: $\ln k = 16.134\ 94 - 66\ 045.8/T$, 由此计算得出 $k_0 = -10\ 169\ 881.35$, $E_a = 54\ 910.48\ \text{kJ/mol}$, 因此不同贮藏温度下猪肉脯的 a^* 值与贮藏温度的 Arrhenius 方程为 $k = -10\ 169\ 881.35e^{-6\ 604.58/T}$ 。

利用 Arrhenius 方程求得的贮藏品质指标变化反应的

表 6 55 °C贮藏条件下猪肉脯的感官品质[†]

Table 6 Sensory evaluation of dried pork slices at 55 °C

贮藏时间/d	色泽	气味	口感	外观	总评分
0	15.00±0.00 ^a	20.00±0.00 ^a	35.00±0.00 ^a	30.00±0.00 ^a	100.00±0.00 ^a
5	14.25±0.71 ^b	17.88±0.83 ^b	31.75±1.28 ^b	23.13±0.83 ^b	87.00±2.14 ^b
10	13.88±0.64 ^c	16.50±1.20 ^c	28.00±1.07 ^b	22.50±1.77 ^b	80.88±2.70 ^c
15	12.88±0.35 ^c	15.63±1.06 ^d	26.88±0.83 ^b	22.38±1.41 ^c	77.75±1.83 ^d
20	13.00±0.76 ^d	10.50±1.20 ^e	24.88±0.99 ^c	19.63±1.06 ^c	68.00±2.83 ^e
25	12.63±0.92 ^c	9.00±1.07 ^f	21.63±0.92 ^d	17.00±1.31 ^{cd}	60.25±2.05 ^f
30	12.19±0.37 ^{ef}	8.50±1.20 ^g	18.63±1.06 ^{de}	16.25±0.71 ^{de}	55.56±1.76 ^g
35	11.94±0.18 ^{ef}	8.13±0.99 ^h	16.63±1.06 ^{ef}	15.63±1.06 ^e	52.31±2.58 ^h
40	11.81±0.26 ^{fg}	7.63±1.06 ^h	16.63±1.06 ^{ef}	15.25±1.28 ^e	51.31±1.69 ^h
45	10.06±0.78 ^g	6.63±1.06 ^h	15.88±0.83 ^f	14.50±1.20 ^f	47.06±2.51 ⁱ
50	8.81±0.75 ^{fg}	7.63±1.06 ⁱ	13.38±1.06 ^g	12.63±0.92 ^g	42.44±1.50 ^j

[†] 同列字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

表 7 在 25 °C贮藏条件下猪肉脯各指标的 Pearson 相关系数[†]

Table 7 Pearson correlation coefficients of indexes of dried pork slices at 25 °C

指标	L^*	a^*	b^*	硬度	外观	色泽	气味	口感
L^*	1.000	0.851 [*]	0.868 ^{**}	−0.937 ^{**}	0.926 ^{**}	0.891 ^{**}	0.891 ^{**}	0.872 [*]
a^*		1.000	0.964 ^{**}	−0.929 ^{**}	0.930 ^{**}	0.916 [*]	0.916 ^{**}	0.565
b^*			1.000	0.908 ^{**}	0.882 ^{**}	0.879 [*]	0.879 ^{**}	0.533
硬度				1.000	−0.968 ^{**}	−0.980 ^{**}	−0.980 ^{**}	−0.719
色泽					1.000	0.983 ^{**}	0.983 ^{**}	0.768 [*]
气味						1.000	0.946 ^{**}	0.687 [*]
口感							1.000	0.687
外观								1.000

[†] **在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 8 在 35 °C贮藏条件下猪肉脯各指标的 Pearson 相关系数[†]

Table 8 Pearson correlation coefficients of indexes of dried pork slices at 35 °C

指标	L^*	a^*	b^*	硬度	外观	色泽	气味	口感
L^*	1.000	0.907 ^{**}	0.878 ^{**}	−0.327	0.977 ^{**}	0.935 ^{**}	0.935 ^{**}	0.976 ^{**}
a^*		1.000	0.994 ^{**}	−0.075	0.942 ^{**}	0.934 ^{**}	0.934 ^{**}	0.899 ^{**}
b^*			1.000	−0.014	0.915 ^{**}	0.916 ^{**}	0.916 ^{**}	0.864 ^{**}
硬度				1.000	−0.346	−0.085	−0.085	−0.256
色泽					1.000	0.910 ^{**}	0.910 ^{**}	0.942 ^{**}
气味						1.000	0.960 ^{**}	0.972 ^{**}
口感							1.000	0.972 ^{**}
外观								1.000

[†] **在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

活化能 E_a ,结合式(5)和式(6)得到 Q_{10} 模型对猪肉脯的货架期进行预测。

2.7 Q_{10} 货架期预测模型

根据 2.6.2 Arrhenius 方程可得到猪肉脯以 a^* 值作为关

键指标的 $E_a=54\,910.48\text{ kJ/mol}$,运用式(6)分别求得以 a^* 值作为关键指标的 $Q_{10}(45\sim55\text{ °C})=1.88$, $Q_{10}(35\sim45\text{ °C})=1.96$ 。再将得到的 Q_{10} 带入式(5)可得到 Q_{10} 模型的计算式见表 13。

表 9 在 45 °C 贮藏条件下猪肉脯各指标的 Pearson 相关系数[†]

Table 9 Pearson correlation coefficients of indexes of dried pork slices at 45 °C

指标	L^*	a^*	b^*	硬度	外观	色泽	气味	口感
L^*	1.000	0.984**	0.916**	0.364	0.869**	0.962**	0.962**	0.986**
a^*		1.000	0.956**	0.447	0.909**	0.984**	0.984**	0.992**
b^*			1.000	0.629*	0.965**	0.974**	0.974**	0.950**
硬度				1.000	0.749**	0.545	0.545*	0.428
色泽					1.000	0.935**	0.935**	0.898**
气味						1.000	0.978**	0.978**
口感							1.000	0.978**
外观								1.000

† **在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 10 在 55 °C 贮藏条件下猪肉脯各指标的 Pearson 相关系数[†]

Table 10 Pearson correlation coefficients of indexes of dried pork slices at 55 °C

指标	L^*	a^*	b^*	硬度	外观	色泽	气味	口感
L^*	1.000	0.957**	0.883**	-0.040	0.899**	0.950**	0.950**	0.987**
a^*		1.000	0.907**	-0.235	0.763**	0.891**	0.891**	0.951**
b^*			1.000	-0.198	0.785**	0.915**	0.915**	0.895**
硬度				1.000	0.226	0.038	0.038	-0.057
色泽					1.000	0.912**	0.912**	0.885**
气味						1.000	0.959**	0.972**
口感							1.000	0.972**
外观								1.000

† **在 0.01 水平(双侧)上显著相关;*在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

表 11 不同贮藏温度下 L^* 、 a^* 、 b^* 值随时间变化的零级动力学回归方程及参数

Table 11 Zero-order kinetic regression equations and parameters of L^* , a^* , and b^* values changing with time at different storage temperatures

色泽指标	贮藏温度/°C	回归方程	初始值 A_0	速率常数 k	回归系数 R^2	ΣR^2
L^*	25	$y = -0.022\ 2x + 31.702$	31.702	-0.022 2	0.609 3	2.981 8
	35	$y = -0.032\ 2x + 31.071$	31.071	-0.032 2	0.767 4	
	45	$y = -0.047\ 4x + 29.985$	29.985	-0.047 4	0.736 7	
	55	$y = -0.133\ 9x + 30.843$	30.843	-0.133 9	0.868 4	
a^*	25	$y = -0.035\ 0x + 14.011$	14.011	-0.035 0	0.714 1	3.225 9
	35	$y = -0.040\ 4x + 14.336$	14.336	-0.040 4	0.988 9	
	45	$y = -0.061\ 1x + 11.655$	11.655	-0.061 1	0.825 2	
	55	$y = -0.165\ 9x + 10.657$	10.657	-0.165 9	0.697 7	
b^*	25	$y = -0.012\ 4x + 10.473$	10.473	-0.012 4	0.665 6	3.366 7
	35	$y = -0.019\ 6x + 10.635$	10.635	-0.019 6	0.995 6	
	45	$y = -0.044\ 9x + 10.194$	10.194	-0.044 9	0.960 1	
	55	$y = -0.122\ 4x + 9.658$	9.658	-0.122 4	0.745 4	

2.8 货架期预测模型的验证

2.8.1 Arrhenius 预测模型的验证 猪肉脯在 55 °C 的贮藏条件下进行货架期加速试验,结合感官评价和回归分析

将其第 50 天的 a^* 值 4.11 视为货架期终点的品质指标值。将 a^* 值的 Arrhenius 方程式 $k = -10\ 169\ 881.35e^{-6\ 604.58/T}$ 代入式(2)中,求得不同温度下猪肉脯的预测货架期。为检

表 12 不同贮藏温度下 L^* 、 a^* 、 b^* 值随时间变化的一级动力学回归方程及参数

Table 12 First-order kinetic regression equations and parameters of L^* , a^* , and b^* values changing with time at different storage temperatures

色泽指标	贮藏温度/℃	回归方程	初始值 A_0	速率常数 k	回归系数 R^2	ΣR^2
L^*	25	$y=31.667e^{-0.001x}$	31.667	-0.001	0.612 3	3.065 7
	35	$y=31.049e^{-0.001x}$	31.049	-0.001	0.789 6	
	45	$y=29.949e^{-0.002x}$	29.949	-0.002	0.766 4	
	55	$y=30.887e^{-0.005x}$	30.887	-0.005	0.897 4	
a^*	25	$y=14.019e^{-0.003x}$	14.019	-0.003	0.681 9	3.402 7
	35	$y=14.647e^{-0.004x}$	14.647	-0.004	0.990 7	
	45	$y=11.873e^{-0.008x}$	11.873	-0.008	0.925 9	
	55	$y=10.484e^{-0.023x}$	10.484	-0.023	0.804 2	
b^*	25	$y=10.473e^{-0.001x}$	10.473	-0.001	0.647 2	3.401 6
	35	$y=10.727e^{-0.002x}$	10.727	-0.002	0.991 5	
	45	$y=10.513e^{-0.006x}$	10.513	-0.006	0.987 4	
	55	$y=9.686e^{-0.017x}$	9.686	-0.017	0.775 5	

验猪肉脯货架期模型的可信度和有效性,对 25,35,45,55℃下贮藏的猪肉脯的真实测定值和预测值进行验证,

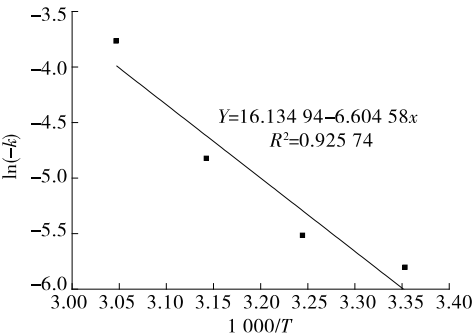


图 6 猪肉脯 a^* 值的 Arrhenius 曲线

Figure 6 Arrhenius curve of a^* value of dried pork slices

表 13 猪肉脯 a^* 值在不同贮藏温度下的 Q_{10} 模型
Table 13 Q_{10} models of a^* value of dried pork slices at different storage temperatures

温度范围/℃	Q_{10} 模型
45~55	$Q_T = 50 \times 1.88^{(55-T)/10}$
35~45	$Q_T = 130 \times 1.96^{(45-T)/10}$

猪肉脯货架期模型检验及货架期预测见表 14。

2.8.2 Q_{10} 模型的验证 通过表 13 中的 2 个 Q_{10} 模型公式,对猪肉脯的货架期进行预测,以检验该模型的准确度,结果见表 15。

由于在 55℃贮藏条件下猪肉脯的脂肪和蛋白质氧化反应速率快,色泽变化过于明显,在第 50 天已主观不可被接受食用,因此将 50 d 视为猪肉脯在 55℃贮藏条件下的实际货架期终点。由于 45~55 和 35~45℃分别采用 55 和 45℃贮藏条件的实际货架期进行 Q_{10} 模型的建立,因此无

表 14 猪肉脯在不同贮藏温度下的货架期预测值和实测值
Table 14 Predicted and measured shelf life of dried pork slices at different storage temperatures

指标	贮藏温度/℃	预测货架期/d	实际货架期/d	相对误差/%
a^* 值	25	543	>180	—
	35	251	>180	—
	45	131	130	0.45
	55	69	50	38.73

表 15 猪肉脯在不同贮藏温度下的 Q_{10} 模型货架期预测
Table 15 Shelf life prediction of Q_{10} model of dried pork slices at different storage temperatures

指标	贮藏温度/℃	45~55℃			35~45℃		
		预测货架期/d	实际货架期/d	相对误差/%	预测货架期/d	实际货架期/d	相对误差/%
a^*	25	332.23	>180	—	499.41	>180	—
	35	176.72	>180	—	254.80	>180	—
	45	94.00	130	-27.69	—	130	—
	55	—	50	—	66.33	50	32.65

法预测 55 和 45 °C 的货架期。由 a^* 值求得的在 35~45 °C 范围内的 Q_{10} 模型对于预测 55 °C 贮藏条件下的货架期可信度低, 因此不选择此模型来预测货架期。通过 Arrhenius 模型预测可知, 在 55 °C 贮藏条件下由猪肉脯 a^* 值预测的货架期与实测货架期的相对误差为 38.73%, 在 45 °C 贮藏条件下由猪肉脯 a^* 值预测的货架期 131 d 与实测货架期 130 d 的相对误差在 $\pm 1\%$ 以内, 与 Q_{10} 模型相比由 a^* 值拟合的 Arrhenius 货架期预测模型具有较高的可靠性。

3 结论

该研究探究了不同贮藏温度 (25, 35, 45, 55 °C) 下猪肉脯的感官评分、色泽 (L^* 值、 a^* 值、 b^* 值) 和硬度的变化规律。结果表明, 随着贮藏时间的延长, 猪肉脯的感官评分、色泽逐渐下降, 且温度越高, 下降速率越快; 硬度在贮藏过程中先升后降, 且随温度升高变化速度越快。通过对不同贮藏温度下猪肉脯的硬度、色泽和感官指标进行 Pearson 相关性分析, 确定了以色泽中的 a^* 值作为构建猪肉脯货架期预测模型的关键因子, 利用一级动力学模型、Arrhenius 方程和 Q_{10} 模型建立了猪肉脯货架期预测模型。根据所得到的货架期预测模型可知, 在 45 °C 贮藏条件下通过 Arrhenius 方程计算出的猪肉脯的货架期预测值与实际货架期的相对误差在 $\pm 1\%$ 以内, Q_{10} 模型得到的相对误差较大, 因此 Arrhenius 预测模型较可靠。以 a^* 值作为猪肉脯货架期预测模型的关键因子, 利用一级动力学模型和 Arrhenius 方程所得到的方程可以用于猪肉脯在不同贮藏温度下的货架期预测。

参考文献

- [1] 周凤超, 庄惠琼, 沈惠丹, 等. 枇杷风味猪肉脯的加工工艺[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 123-129.
ZHOU F C, ZHUANG H Q, SHEN H D, et al. Research on the processing of dried pork slice with loquat flavor[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 123-129.
- [2] 曹媛媛, 周伦, 艾民珉, 等. 仙草提取物对猪肉脯贮藏期间品质的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 45-51.
CAO Y Y, ZHOU Q, AI M M, et al. Effects of hsian-tsao extract on the quality of pork jerky during storage[J]. Meat Research, 2020, 34(11): 45-51.
- [3] 王军, 王忠合, 林乔仪, 等. 壳聚糖—葡萄糖美拉德反应修饰产物的抗氧化性及其对猪肉脯色泽和贮藏性的影响[J]. 食品科技, 2018, 43(8): 258-262.
WANG J, WANG Z H, LIN Q Y, et al. Antioxidative properties of chitosan-glucose Maillard reaction products and its effect on color and shelf-life of dried pork slice[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(8): 258-262.
- [4] XIAO H, YU J, SONG L L, et al. Characterization of flesh firmness and ease of separation in the fermentation of sea bass

in terms of protein structure, texture, and muscle tissue structural changes[J]. Food Research International, 2022, 162 (Part A): 111965.

- [5] 王瑶, 王颖, 王萍, 等. 辣子鸡丁贮藏过程中的品质变化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(18): 346-358.
WANG Y, WANG Y, WANG P, et al. Quality change of spicy diced chicken during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(18): 346-358.
- [6] 宋娜, 张国治, 李竹生. 石榴风味乳饮料贮藏品质及货架期预测[J]. 中国酿造, 2023, 42(3): 209-213.
SONG N, ZHANG G Z, LI Z S. Storage quality and shelf-life prediction of pomegranate flavoured milk beverage[J]. China Brewing, 2023, 42(3): 209-213.
- [7] 刘丹, 张慊, 王丽萍, 等. 不同贮藏温度对冰淇淋品质及保质期的影响研究[J]. 食品与生物技术学报, 2014, 33(4): 361-367.
LIU D, ZHANG M, WANG L P, et al. Effect of different storage temperatures on the quality and shelf life of ice cream[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2014, 33(4): 361-367.
- [8] 彭健斌. 发酵羊肉脯工艺优化及货架期预测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021: 9-10.
PENG J B. Study on the process optimization and shelf life prediction of fermented mutton jerky[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021: 9-10.
- [9] ZHAO S S, HAN X Y, LIU B, et al. Shelf-life prediction model of fresh-cut potato at different storage temperatures[J]. Journal of Food Engineering, 2022, 317: 110867.
- [10] DABADE D S, YESSOUFOU N, ADIDO L, et al. Quality changes, potential spoilage organisms, and shelf-life prediction of brackish river prawn (*Macrobrachium macrobrachion*) at different storage temperatures[J]. International Journal of Food Microbiology, 2023, 405: 110344.
- [11] 刘恒, 范柳萍, 张涛, 等. 复合酵素的贮藏稳定性及货架期研究[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(1): 59-66.
LIU H, FAN L P, ZHANG T, et al. Storage stability and shelf-life of complex Jiaosu[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(1): 59-66.
- [12] BRAVI E, SILEONI V, PERRETTI G, et al. Accelerated shelf-life model of gluten-free rusks by using oxidation indices[J]. Food Chemistry, 2020, 326: 126971.
- [13] 胡力, 王芳梅, 吕明珊, 等. 不同贮藏温度下真空包装鸡肉酱品质变化及货架期模型的建立[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 132-138.
HU L, WANG F M, LV M S, et al. Quality changes during storage at different temperatures and establishment of shelf-life model of vacuum packaged chicken paste[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 132-138.
- [14] 姜启兴, 王丹, 余达威, 等. 鲮鱼的形体指标及其质构特性

- [J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(10): 1 061-1 065.
- JIANG Q X, WANG D, YU D W, et al. Study on shape indexes and texture properties of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2016, 35(10): 1 061-1 065.
- [15] 汪辰晨, 赵建伟, 陈龙, 等. 温度波动对冷鲜鸡贮藏品质的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2024, 43(9): 10-20.
- WANG C C, ZHAO J W, CHEN L, et al. Effects of temperature fluctuation on storage quality of chilled chicken [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2024, 43(9): 10-20.
- [16] 沈双伟, 李登龙, 林伟玲, 等. 桑椹多酚及其微胶囊对猪肉脯品质的改良[J]. 现代食品科技, 2022, 38(3): 185-194.
- SHEN S W, LI D L, LIN W L, et al. Improving the quality of the dried minced pork slices by mulberry polyphenols and its microcapsules[J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(3): 185-194.
- [17] 鱼喆喆, 付尚辰, 朱丽, 等. 冷冻贮藏对喷雾干燥羊乳粉品质特性的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2023, 42(9): 66-73.
- YU Z Z, FU S C, ZHU L, et al. Effect of frozen storage on spray-dried goat milk powder quality characteristics[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2023, 42(9): 66-73.
- [18] 孔维洲. 一种发酵鹿肉干的制备及货架期预测模型的建立[D]. 银川: 宁夏大学, 2020: 40-41.
- KONG W Z. Preparation of a fermented venison and establishment of a shelf life prediction model[D]. Yinchuan: Ningxia University, 2020: 40-41.
- [19] 刘晓媛, 孙鹤, 夏南, 等. 不同包装方式绿茶酒酿馒头的储藏品质分析及货架期预测[J]. 食品科技, 2023, 48(12): 147-154.
- LIU X Y, SUN H, XIA N, et al. Storage quality analysis and shelf life prediction of steamed bread with green tea and fermented glutinous wine in different packaging method[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(12): 147-154.
- [20] 周晓璐, 李雅雯, 许倩, 等. 新疆椒麻鸡腿的品质变化及货架期预测[J]. 食品工业科技, 2024, 45(7): 306-312.
- ZHOU X L, LI Y W, XU Q, et al. Quality changes and shelf life prediction of Xinjiang pepper chicken legs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(7): 306-312.
- [21] 杨晓玲, 邓力, 董楠, 等. 重组牛肉干双螺杆挤压工艺研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 107-111.
- YANG X L, DENG L, DONG N, et al. Study on twin-screw extrusion process of restructured beef jerky[J]. Food & Machinery, 2013, 29(4): 107-111.
- [22] MONIN G, MARINOVA P, TALMANT A, et al. Chemical and structural changes in dry-cured hams (*Bayonne hams*) during processing and effects of the dehairing technique[J]. Meat Science, 1997, 47(1/2): 29-47.
- [23] 陈茜茜, 王俊, 黄峰, 等. 蛋白质氧化对肉类成熟的影响研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(3): 285-289.
- CHEN Q Q, WANG J, HUANG F, et al. Research progress in effect of protein oxidation on meat aging[J]. Food Science, 2013, 34(3): 285-289.
- [24] 王丹. 不同地区传统肉制品品质及其特征风味研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2022: 27-28.
- WANG D. Study on the quality and characteristic flavor of traditional meat products in different regions[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2022: 27-28.