

不同贮藏温度下辽宁庄河大骨鸡肉干品质变化及货架期预测模型的建立

金娜^{1,2} 颜瑞池² 苏玉虹² 王溪竹² 尚宏丽²

(1. 锦州医科大学医疗学院, 辽宁 锦州 121010; 2. 锦州医科大学食品与健康学院, 辽宁 锦州 121001)

摘要: [目的] 探究贮藏温度对大骨鸡肉干品质的变化规律, 并建立基于 TBARS 值和菌落总数的大骨鸡肉干货架期预测模型。[方法] 将大骨鸡肉干分别于 4, 25, 37 °C 下贮藏, 测定其 pH 值、挥发性盐基氮 (TVB-N)、硫代巴比妥酸值 (TBARS)、酸价 (AV)、色泽、质构、感官特性及菌落总数变化, 并运用 Arrhenius 方程建立以菌落总数、TBARS 值和 TVB-N 值为品质指标的大骨鸡肉干货架期动力学模型。[结果] 在 3 种不同温度下贮藏 42 d, 大骨鸡肉干的 pH 值呈先下降后上升趋势, 感官评分及 L^* 值呈下降趋势, 菌落总数、AV、TBARS 值、 a^* 值和 b^* 值均呈上升趋势, 硬度和弹性逐渐降低。大骨鸡肉干菌落总数、TBARS 值和 TVB-N 值的活化能分别为 24 719.859 0, 18 027.872 2, 21 092.791 0 kJ/mol, 指前因子 k_0 分别为 1 375.950 4, 30.244 1, 898.026 9。经验证, 以 TBARS 值为品质指标的预测模型的相对误差均 > 10%, 以菌落总数和 TVB-N 值为品质指标的预测模型相对误差在 ± 10% 以内, 预测效果好。[结论] 以菌落总数和 TVB-N 值为品质因子的预测模型可以有效预测 4~37 °C 贮藏条件下大骨鸡肉干的货架期。

关键词: 大骨鸡肉干; 货架期; 贮藏温度; 品质变化; 预测模型

Changes in quality of Liaoning Zhuanghe Dagu chicken jerky at different storage temperatures and establishment of shelf life prediction model

JIN Na^{1,2} YAN Ruichi² SU Yuhong² WANG Xizhu² SHANG Hongli²

(1. Medical College of Jinzhou Medical University, Jinzhou, Liaoning 121010, China;

2. School of Food and Health, Jinzhou Medical University, Jinzhou, Liaoning 121001, China)

Abstract: [Objective] To investigate the changes in the quality of Dagu chicken jerky during storage at different temperatures and establish a shelf-life prediction model based on thiobarbituric acid reactive substance (TBARS) value and colony count. [Methods] The Dagu chicken jerky was stored at 4, 25, and 37 °C, and the changes in pH value, total volatile basic nitrogen (TVB-N), TBARS value, acid value (AV), color, texture, sensory characteristics, and colony count were measured. The Arrhenius equation was used to establish a shelf-life kinetic model of Dagu chicken jerky, with colony count, TBARS value, and TVB-N value as quality indicators. [Results] After being stored at three different temperatures for 42 days, the Dagu chicken jerky showed a decrease and then an increase in pH value. The sensory score and L^* value showed a downward trend. The colony count, AV, TBARS value, a^* value, and b^* value all showed an upward trend, and the hardness and elasticity gradually decreased. The activation energies for the colony count, TBARS value, and TVB-N value of Dagu chicken jerky were 24 719.859 0 kJ/mol, 18 027.872 2 kJ/mol, and 21 092.791 0 kJ/mol, respectively, and the pre-exponential factors (k_0) were 1 375.950 4, 30.244 1, and 898.026 9, respectively. After verification, the relative error of the prediction model with TBARS value as the quality indicator was greater than 10%, while the relative error of the prediction model with colony count and TVB-N value as the quality

基金项目: 锦州医科大学青年科技人才托举项目 (编号: JYQT202307); 辽宁省科技计划联合计划 (基金) 项目 (编号: 2023-BSBA-159); 辽宁省种质创新藏粮于技专项 (编号: 2023020531-JH1/102-04, JH1/102-05)

通信作者: 尚宏丽 (1977—), 女, 锦州医科大学教授, 博士。E-mail: shanghongli007@126.com

收稿日期: 2024-11-30 **改回日期:** 2025-08-31

引用格式: 金娜, 颜瑞池, 苏玉虹, 等. 不同贮藏温度下辽宁庄河大骨鸡肉干品质变化及货架期预测模型的建立[J]. 食品与机械, 2025, 41(10): 100-111.

Citation: JIN Na, YAN Ruichi, SU Yuhong, et al. Changes in quality of Liaoning Zhuanghe Dagu chicken jerky at different storage temperatures and establishment of shelf life prediction model[J]. Food & Machinery, 2025, 41(10): 100-111.

indicator was within $\pm 10\%$, showing a good prediction effect. [Conclusion] The prediction model with colony count and TVB-N value as the quality indicator can effectively predict the shelf-life of Daggu chicken jerky stored at temperatures ranging from 4 °C to 37 °C.

Keywords: Daggu chicken jerky; shelf life; storage temperature; quality change; prediction model

辽宁庄河大骨鸡为辽宁省国家地方遗传资源保护品种,具有肉蛋兼用、肉质优良、蛋大鲜美的特点^[1]。与普通肉鸡相比,其公鸡肉中蛋白质含量约提高 15%,胆固醇约降低 20%^[2],铁含量比肉鸡约高 64%,而微量元素如镁、铜、锰等比普通肉鸡高 30% 以上^[3]。以大骨鸡为原料制作的鸡肉干味道鲜美,营养价值高,符合当前消费者对低脂、高蛋白、无添加食品的需求。但由于大骨鸡肉干中富含丰富的营养物质,在加工贮运过程中,不适宜的环境条件易引发脂肪氧化、蛋白质水解及微生物繁殖等^[4-5],导致其品质下降、货架期缩短。

基于食品的物理特性、化学组成、微生物变化及感官指标所构建的货架期预测模型,可为食品贮藏与销售策略的制定提供重要理论依据^[6]。在食品贮藏过程中,其品质变化通常可通过化学动力学模型进行描述^[7]。其中,基于温度变化规律的动力学模型及 Arrhenius 方程,已被广泛应用于食品货架期的预测。Laksanawati 等^[8]、Rohaya 等^[9]利用加速破坏试验结合 Arrhenius 方程分别对不同贮藏温度下牛肉丸和鸡块的货架期进行了预测。Park 等^[10]应用零级动力学模型结合 Arrhenius 方程建立了基于三甲胺(TMA)的真空包装烤鲭鱼货架期预测模型。李娜等^[11]研究了不同贮藏温度下半滑舌鲷品质指标的变化规律,并利用一级动力学方程对半滑舌鲷的保质期进行了预测。谢进等^[12]以菌落总数作为货架期的关键品质因子,构建的货架期模型准确预测了一 18~25 °C 即食烧鹅胸肉的货架期。目前,有关新鲜大骨鸡肉的货架期研究较少^[13],而且关于真空包装大骨鸡肉干在不同贮藏温度下的品质变化规律及对其货架期的预测尚未见报道。

试验拟以真空包装的大骨鸡肉干为研究对象,从 pH 值、TVB-N、TBARS、酸价、色泽、质构、感官特性与菌落总数的变化等方面分析 4, 25, 37 °C 贮藏条件下大骨鸡肉干的品质变化规律。采用零级动力学方程和 Arrhenius 方程建立大骨鸡肉干货架期动力学模型,并加以评估验证,为预测大骨鸡肉干产品货架期提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 材料与试剂

辽宁庄河大骨鸡:锦州医科大学畜牧实验室;
酱油、花椒粉、食盐、五香粉:市售;
平板计数琼脂培养基:上海杰星生物科技有限公司;
氯化钠、石油醚、无水乙醇:分析纯,扬州市兴源化工

有限公司;

三氯乙酸、乙二胺四乙酸二钠、氢氧化钾:分析纯,如皋市化学试剂厂有限公司;

硫代巴比妥酸、酚酞指示剂:湖北中旭合一化学有限公司。

1.1.2 仪器与设备

色差仪:CS-10 型,淄博迪烨仪器设备有限公司;

pH 计:SJ-5T 型,河南信陵仪器设备有限公司;

高压蒸汽灭菌锅:DGS-35 型,河南沃林仪器设备有限公司;

恒温水浴锅:HH-6 型,常州市亿能实验仪器厂;

电热恒温培养箱:JXP-3 型,江苏迅迪仪器科技有限公司;

紫外可见分光光度计:SH-6600 型,苏州奇乐电子科技有限公司;

高速离心机:BL-25R 型,重庆尚捷仪器仪表有限公司;

恒温水浴锅:DZKW-S-6 型,杭州德为仪器科技有限公司;

组织捣碎机:MY-PC1L 型,上海圣科仪器设备有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 大骨鸡肉干制备 将新鲜辽宁庄河大骨鸡鸡胸肉用清水冲洗干净,切成 2 cm×2 cm×4 cm 的鸡肉条。向鸡肉条中加入 0.9% 酱油、2% 花椒粉、1.3% 食盐、2% 五香粉,搅拌均匀,4 °C 腌制 6 h,锅中蒸制 10 min,采用热风—微波干燥法进行干燥。参数设置:干燥温度 65 °C,热风烘干时间 40 min,微波功率 320 W,微波干燥时间 3 min。取出干燥好的肉干,冷却。将 100 g 鸡肉干样品(水分质量分数 28%、盐分质量分数 1.3%,每袋包装 100 g)装入已灭菌的低透氧真空包装袋[透氧率 2.31 cm³/(m²·d·Pa)],90 °C 高压蒸汽灭菌 10 min,分别于 4, 25, 37 °C 下贮藏,每隔 7 d 取样一次,测定不同贮藏温度下大骨鸡肉干样品的各项理化指标。

1.2.2 基本理化指标测定

- (1) 水分含量:根据 GB 5009.3—2016。
- (2) 食盐含量:根据 GB 5009.44—2016。
- (3) 脂肪含量:根据 GB 5009.6—2016。
- (4) 蛋白质含量:根据 GB 5009.5—2016。
- (5) 氨基酸含量:根据 GB 5009.124—2016。

1.2.3 pH 值测定 参照 Li 等^[14]的方法略作修改。称取

3 g 大骨鸡肉干样品,加入 30 mL 去离子水,于磁力搅拌器上搅拌 30 min,静置 10 min,使用 pH 计测定溶液 pH 值。

1.2.4 菌落总数测定 根据 GB 4789.2—2022。

1.2.5 硫代巴比妥酸值(TBARS 值)测定 参照梁慧^[15]的方法略作修改。称取 10 g 大骨鸡肉干样品,切碎,加入 50 mL 7.5% 三氯乙酸(含 0.1% EDTA)溶液,振摇 30 min,4 000 r/min 离心 10 min,过滤。吸取 5 mL 滤液,加入 5 mL 0.02 mol/L 硫代巴比妥酸溶液,90 ℃水浴 30 min,冷却。测定 532,600 nm 处吸光值,按式(1)计算硫代巴比妥酸值。

$$TBARS = \frac{A_{532\text{ nm}} - A_{600\text{ nm}}}{156} \times \frac{1}{10} \times 72.06 \times 1\,000, \quad (1)$$

式中:

TBARS——硫代巴比妥酸值,mg/kg;

$A_{532\text{ nm}}$ ——样品在 532 nm 处吸光值;

$A_{600\text{ nm}}$ ——样品在 600 nm 处吸光值;

156——摩尔吸光系数;

72.06——丙二醛的相对分子质量。

1.2.6 挥发性盐基氮(TVB-N)含量测定 根据 GB 5009.228—2016。

1.2.7 质构分析 参照 Wang 等^[16]的方法稍作修改。将大骨鸡肉干样品切成 2 cm³立方体,选用 P40 探头进行质构测定,测前速度 2.0 mm/s,测中、后速度 1.0 mm/s、压缩率 40%。每组样品做 3 个平行,测定其硬度、弹性、内聚性及咀嚼性。

1.2.8 色泽测定 参照 Gui 等^[17]的方法并稍作修改。使用色差仪测定大骨鸡肉干样品的色差,试样测试前使用白板进行校准,随后将色差仪镜头对准肉干表面,分别测定其 L^* 值、 a^* 值和 b^* 值。

1.2.9 酸价测定 参照黄业传等^[18]的方法并稍作修改。称取 3 g 大骨鸡肉干样品,加入 50 mL 体积比为 2:1 的石油醚—乙醇混合溶剂,振匀,加入 2~3 滴酚酞溶液,用 0.1 mol/L KOH 标准溶液滴定至出现浅红色且持续 30 s 不褪色,记录 KOH 溶液滴定所消耗的体积,按式(2)计算酸价。

$$AV = V \times C \times \frac{56.1}{m}, \quad (2)$$

式中:

AV——酸价,mg/kg;

V ——滴定消耗的 KOH 溶液体积,mL;

C ——KOH 滴定溶液浓度,mol/L;

m ——样品质量,g;

56.1——KOH 的摩尔质量,g/mol。

1.2.10 感官评价 参照袁静宇等^[19]的方法略作修改。

邀请 10 名食品专业人员对大骨鸡肉干进行感官评定。感官品质评分标准采用百分权重,当综合感官评分 < 60 分时,认为该大骨鸡肉干已不可食用,到达货架期终点。感官评分标准见表 1。

表 1 大骨鸡肉干感官评定指标
Table 1 Sensory evaluation indicators of Dagu chicken jerky

感官指标	评定标准	得分
色泽(20)	肉色金黄,色泽均匀,无色斑	15~20
	肉色淡黄,色泽较均匀,无色斑	7~14
	肉色偏暗,色泽不均匀,有色斑	0~6
组织状态(20)	肉干均匀成型,肉质结构结实	15~20
	肉干均匀成型,表面硬化较严重,不发黏	7~14
	肉干表面硬化严重,发黏	0~6
口感(30)	易咀嚼,硬度、弹性适中	20~30
	不易咀嚼,稍硬、弹性一般	10~19
	难咀嚼,口感粗糙,弹性很差	0~9
风味(30)	肉味浓郁,香料味适中,无异味	20~30
	肉味较淡,香料味偏淡或偏重,无异味	10~19
	肉香味不明显,有异味	0~9

1.3 大骨鸡肉干货架期预测模型的建立

应用化学反应动力学方程构建大骨鸡肉干的货架期预测模型,实现对其货架期的准确预测。化学动力学零级和一级方程分别如式(3)和式(4)所示。

$$\text{零级方程: } A = A_0 + Kt, \quad (3)$$

$$\text{一级方程: } A = A_0 e^{Kt}. \quad (4)$$

对式(3)、式(4)进行化简,两边取对数得

$$\ln A = \ln A_0 + Kt, \quad (5)$$

式中:

t ——贮藏时间,d;

K ——反应速率常数,d⁻¹;

A_0 ——大骨鸡肉干品质指标在初始时刻的参数值;

A ——贮藏第 t 天的参数值。

Arrhenius 方程用来描述食品中各项指标化学反应速率常数随温度变化的关系^[20]。

$$K = K_0 \exp(-E_a/RT). \quad (6)$$

化简,两边同时取对数得

$$\ln K = \ln K_0 - E_a/RT, \quad (7)$$

式中:

K ——反应速率常数,d⁻¹;

K_0 ——指前因子;

E_a ——活化能,kJ/mol;

R ——摩尔气体常数,8.314 J/(mol·K);

T ——贮藏绝对温度,K。

由式(7)可知,通过对 $\ln K$ 与 $1/T$ 的线性回归分析,根据方程的斜率和截距计算出活化能 E_a 和指前因子 K_0 。将 Arrhenius 方程分别代入式(3)、式(4),可得到大骨鸡肉干的货架期方程。

零级动力学方程:

$$SL = |A - A_0| / K_0 \exp^{(-E_a/RT)}, \quad (8)$$

一级动力学方程:

$$SL = |\ln A - \ln A_0| / K_0 \exp^{(-E_a/RT)}. \quad (9)$$

1.4 数据统计分析

运用 SPSS 26.0 统计软件进行 Pearson 相关性分析。

通过 Excel 以及 Origin 2021 软件对试验结果进行整理,并绘制相应的图表。每项试验均进行 3 次,结果用均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 大骨鸡肉干的基本理化指标

由表 2 可知,大骨鸡肉干中水分含量为 28.12%, pH 值为 5.89, NaCl 含量为 1.30%, 脂肪含量为 2.12 g/100 g, 蛋白质含量为 27.60 g/100 g, 氨基酸含量为 20.45 mg/100 g。上述指标均符合 GB/T 23969—2022 的要求。

表 2 大骨鸡肉干的基本理化指标

Table 2 Basic physical and chemical properties of Daggu chicken jerky

指标	水分含量/%	pH	NaCl 含量/%	脂肪含量/ ($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)	蛋白质含量/ ($10^{-2} \text{ g} \cdot \text{g}^{-1}$)	氨基酸含量/ ($10^{-2} \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
大骨鸡肉干	28.12	5.89	1.30	2.12	27.60	20.45
国家标准	≤40	—	≤5	≤12	≥26	—

2.2 不同贮藏温度下大骨鸡肉干品质变化

2.2.1 pH 值 由图 1 可知,大骨鸡肉干的 pH 起始值为 5.89,不同贮藏温度下的 pH 值均随着贮藏时间的延长呈先减小后增大趋势。4, 25, 37 °C 下贮藏第 42 天的 pH 值分别为 6.09, 6.18, 6.25, 其中, 4 °C 下的 pH 值显著低于其他两组 ($P < 0.05$)。贮藏初期,由于糖类和脂肪的分解,产生了大量的乳酸、乙酸和游离氨基酸等有机酸类,导致大骨鸡肉干 pH 值下降^[21]。贮藏后期,蛋白质等物质的降解导致碱性基团增加,其降解速率大于产酸速率^[22],从而使大骨鸡肉干的 pH 值又呈上升趋势,且随着贮藏温度的升高,蛋白质的分解速率越快, pH 值上升越快。综上,相较于高温, 4 °C 贮藏更利于维持大骨鸡肉干 pH 值的稳定。

2.2.2 TVB-N 值 GB 2707—2016 中规定,新鲜肉的

TVB-N 标准含量 ≤ 15 mg/100 g。由图 2 可知,大骨鸡肉干的初始 TVB-N 值均为 3.35 mg/100 g。随着贮藏时间的延长,各处理组 TVB-N 值均呈上升趋势;贮藏温度越高, TVB-N 值增加越快;不同贮藏温度下的 TVB-N 值差异显著 ($P < 0.05$)。其中, 4 °C 下的 TVB-N 值变化速率显著低于其他两组 ($P < 0.05$),且在贮藏第 42 天仅为 7.76 mg/100 g,远低于国家限量标准。这主要归因于低温抑制了蛋白质分解酶活性^[23],减缓了蛋白质降解过程,从而使得 TVB-N 值的变化较为缓慢。而 25, 37 °C 下的 TVB-N 值变化较快,贮藏第 42 天时分别为 9.73, 15.12 mg/100 g,其中 37 °C 下的 TVB-N 值已超出标准限值,此时鸡肉干品质劣变,不可食用。这主要是由于高温促进了微生物的繁殖,蛋白质分解产生的氨和其他胺类碱性含氮物质在后期大量积累,导致 TVB-N 值急剧上升,

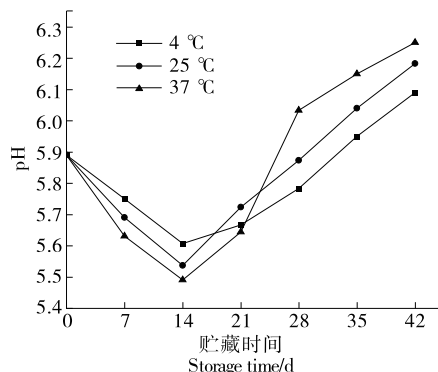


图 1 不同贮藏温度下大骨鸡肉干 pH 值的变化

Figure 1 Changes in pH value of Daggu chicken jerky at different storage temperatures

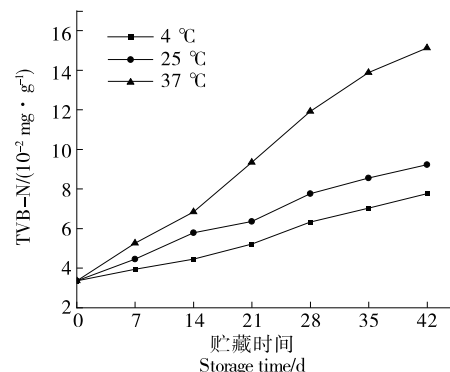


图 2 不同贮藏温度下大骨鸡肉干 TVB-N 值的变化

Figure 2 Changes in TVB-N value of Daggu chicken jerky at different storage temperatures

最终达到腐败程度^[24]。综上,低温贮藏(4℃)能有效延缓 TVB-N 值的增加,降低蛋白质氧化速度,更好地保持鸡肉干的新鲜程度。

2.2.3 TBARS 值 TBARS 值越大,脂肪氧化程度越高^[25],产品品质越差。由图 3 可知,不同贮藏温度下,大骨鸡肉干的 TBARS 值随贮藏时间的延长而升高($P<0.05$),且贮藏温度越高,TBARS 值上升速率越快,4℃下的 TBARS 值的变化速率显著低于其他两组($P<0.05$)。大骨鸡肉干样品起始 TBARS 值为 0.17 mg/kg,在贮藏前期增长缓慢,其主要原因是大骨鸡肉干采用真空包装贮藏,隔绝了空气中的氧气,从而在一定程度上抑制了脂肪氧化,延缓大骨鸡肉干 TBARS 值的增长^[26]。当 TBARS 值 ≥ 1.5 mg/kg^[22],肉制品会产生强烈的酸败味,故将货架期终点设定为 TBARS 值 ± 1.5 mg/kg。试验中只有 37℃下的 TBARS 值在贮藏第 42 天时达到了 1.52 mg/kg,超过标准限值,其他组均未超出。综上,低温贮藏可以显著降低脂肪氧化分解产物丙二醛(MDA)的生成,从而减缓鸡肉干的脂肪氧化。

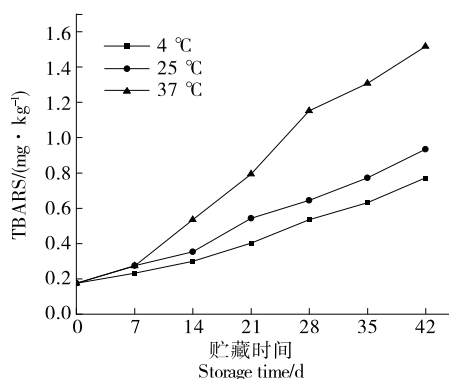


图 3 不同贮藏温度下大骨鸡肉干 TBARS 值的变化

Figure 3 Changes in TBARS value of Dagu chicken jerky at different storage temperatures

2.2.4 酸价 酸价越高,代表油脂水解程度越大,肉制品新鲜度越差^[27]。由图 4 可知,3 种贮藏温度下,大骨鸡肉干样品的起始酸价均为 0.64 mg/g;随着贮藏时间的延长,4,25,37℃下贮藏第 42 天的酸价均呈增加趋势,贮藏温度对大骨鸡肉干贮藏过程中酸价变化影响显著($P<0.05$)。随着贮藏温度的升高,脂肪氧化速率加快,三酰甘油发生水解,游离脂肪酸增加,酸价也随之增大^[28]。大骨鸡肉干在不同贮藏温度下酸价增长速度差异较大,其中贮藏第 42 天,4℃下的酸价增长速率明显低于其他两组样品($P<0.05$)。这主要是由于大骨鸡肉干在 4℃贮藏过程中,其内部脂肪的分解与氧化速度相对较慢,可能是由于低温对脂氧合酶活力有一定的抑制作用^[29],因此,随着贮藏温度的降低,抑制效应增强,从而降低了鸡肉干酸价的增长速度。

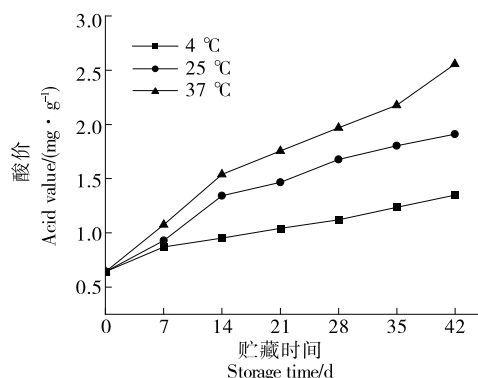


图 4 不同贮藏温度下大骨鸡肉干酸价的变化

Figure 4 Changes in acid value of Dagu chicken jerky at different storage temperatures

2.2.5 色泽 由图 5~图 7 可知,随贮藏时间的延长,鸡肉干的 L^* 值呈下降趋势,且随着贮藏温度的升高,其降低幅度逐渐增大。这可能是因为大骨鸡肉干在贮藏期间,蛋白质的结构发生了改变,影响了大骨鸡肉干的光散射效果^[30],导致鸡肉干的亮度逐渐变暗。 a^* 值和 b^* 值均逐渐升高,主要是因为鸡肉干肌红蛋白经过氧化形成高铁肌红蛋白以及脂肪氧化产物与蛋白质水解产生的胺类物质发生非酶褐变^[31]。其中,37℃下的 a^* 值和 b^* 值上升最快,25℃下的次之,4℃下的最慢,说明低温和密闭条件抑制了产物的氧化、水解等反应以及微生物的生长繁殖,同时还能降低产物的变质速率,从而使产品的色泽得到保护,货架期延长^[32]。这与郑荣美^[33]的结论相符。

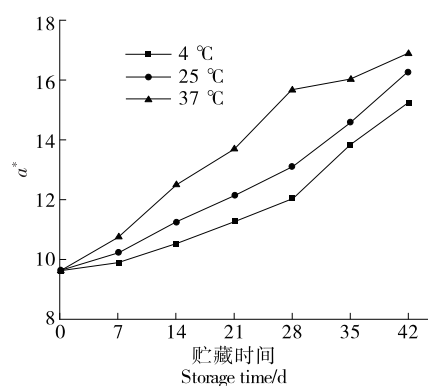
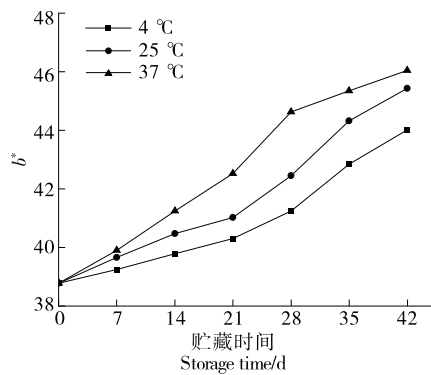
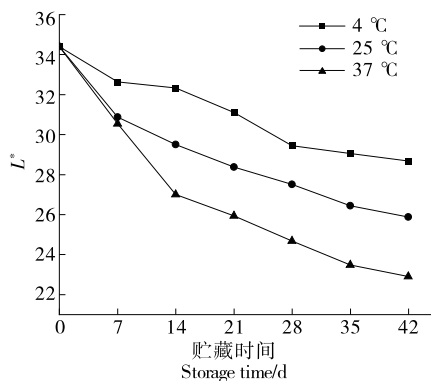


图 5 不同贮藏温度下大骨鸡肉干 a^* 值的变化

Figure 5 Changes in the a^* value of Dagu chicken jerky at different storage temperatures

2.2.6 质构 由表 3 可知,大骨鸡肉干硬度、咀嚼性、弹性和内聚性初始值分别为 61.76 N、0.77 mm、16.97 N、0.64。随着贮藏时间的延长,不同贮藏组的大骨鸡肉干的硬度、弹性、咀嚼性和内聚性均呈下降趋势,贮藏温度越高,其值下降速率越快,且 4℃下的下降趋势与其他组相比较为

图6 不同贮藏温度下大骨鸡肉干 b^* 值的变化Figure 6 Changes in b^* value of Daggu chicken jerky at different storage temperatures图7 不同贮藏温度下大骨鸡肉干 L^* 值的变化Figure 7 Changes in L^* value of Daggu chicken jerky at different storage temperatures

缓慢。这主要是贮藏过程中,随着贮藏温度的升高,鸡肉干内部的水分含量减少,同时微生物活动加剧和脂质氧化速度加快,这些因素共同作用导致肌肉纤维结构的断裂和松散^[12],从而使得肉质变得更加松软,鸡肉干的硬度、内聚性和咀嚼性也随之降低。贮藏末期,4,25,37 °C下的弹性由0.77 mm分别下降至0.59,0.53,0.44 mm。这是由于贮藏过程中鸡肉干内部水分的流失和蛋白质的分解作用,导致鸡肉干的组织结构受到破坏,使其弹性不断下降^[34]。

2.2.7 感官评价 由图8可知,贮藏初期,大骨鸡肉干制品的感官评分相同,为89.3分,此时肉干呈现最新鲜的状态。随着贮藏时间的延长,4,25,37 °C下的感官得分呈下降趋势,且贮藏温度越高,感官评分下降速度越快。根据感官评定标准,<60分为有效贮藏期结束,大骨鸡肉干达到货架期终点。37 °C下贮藏第42天的感官得分为59.3分,此时鸡肉干主要感官特征为肉香味减弱,表面发黏出油,整体无光泽,同时出现哈喇味和胀袋现象;这主要是因为鸡肉干制品在贮藏期间油脂的氧化与蛋白的

表3 不同贮藏温度下大骨鸡肉干质构的变化[†]

Table 3 Changes in texture of Daggu chicken jerky at different storage temperatures

贮藏温度/°C	贮藏时间/d	硬度/N	弹性/mm	内聚性	咀嚼性/N
4	0	61.76±0.09 ^a	0.77±0.12 ^a	0.64±0.05 ^a	16.97±1.08 ^a
	7	61.45±0.12 ^b	0.75±0.02 ^{ab}	0.63±0.06 ^{ab}	16.78±0.51 ^{ab}
	14	60.89±0.33 ^c	0.72±0.05 ^{ab}	0.59±0.02 ^{ab}	16.44±0.52 ^{abc}
	21	59.76±0.09 ^d	0.67±0.09 ^{abc}	0.58±0.06 ^{ab}	16.13±1.34 ^{abc}
	28	59.43±0.10 ^e	0.64±0.07 ^{abc}	0.56±0.07 ^{ab}	15.71±1.01 ^{abc}
	35	58.76±0.06 ^f	0.61±0.02 ^{bc}	0.52±0.01 ^{ab}	15.46±0.72 ^{bc}
	42	58.02±0.13 ^g	0.59±0.05 ^c	0.50±0.06 ^b	15.25±0.32 ^c
25	0	61.76±0.10 ^a	0.77±0.12 ^a	0.64±0.05 ^a	16.97±1.07 ^a
	7	61.27±0.45 ^b	0.74±0.02 ^a	0.62±0.03 ^a	16.65±0.50 ^{ab}
	14	60.76±1.09 ^c	0.69±0.03 ^{ab}	0.58±0.04 ^{ab}	16.23±0.85 ^{ab}
	21	59.54±0.48 ^d	0.62±0.06 ^{bc}	0.54±0.08 ^{ab}	16.01±1.47 ^{ab}
	28	58.23±0.38 ^e	0.60±0.03 ^{bc}	0.53±0.11 ^{ab}	15.66±1.22 ^{abc}
	35	57.87±0.67 ^f	0.58±0.06 ^{bc}	0.50±0.06 ^{ab}	14.83±0.75 ^{bc}
	42	56.25±1.10 ^g	0.53±0.04 ^c	0.48±0.04 ^b	14.05±0.90 ^c
37	0	61.76±0.10 ^a	0.77±0.12 ^a	0.64±0.05 ^a	16.97±1.08 ^a
	7	61.13±0.23 ^b	0.72±0.01 ^{ab}	0.61±0.03 ^{ab}	16.54±0.66 ^{ab}
	14	60.36±1.34 ^c	0.66±0.06 ^{abc}	0.56±0.05 ^{abc}	16.21±0.87 ^{abc}
	21	58.94±2.02 ^d	0.59±0.05 ^{bcd}	0.53±0.04 ^{abc}	15.87±1.52 ^{abc}
	28	56.32±0.67 ^e	0.54±0.05 ^{bcd}	0.51±0.08 ^{abc}	15.05±0.18 ^{bcd}
	35	54.78±0.14 ^f	0.52±0.07 ^{cd}	0.46±0.15 ^{bc}	14.48±0.62 ^{cd}
	42	53.11±0.21 ^g	0.44±0.09 ^d	0.40±0.08 ^c	13.85±0.74 ^d

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

水解作用,使其发生褐变反应,并生成碱性挥发性气体^[35]。因此,37 °C下的大骨鸡肉干产品失去食用价值,消费者不可接受。4,25 °C下贮藏第42天的感官评分分别为73.5,67.8分,均未达到货架期临界值;其中,4 °C下的感官评分下降速率显著低于其他两组($P<0.05$),说明低温与真空包装的组合能有效保持大骨鸡肉干的风味特征,延缓其品质下降速度。

2.2.8 菌落总数 由图9可知,大骨鸡肉干样品的起始菌落总数数值较小,为0.67 lg(CFU/g)。随着贮藏时间的延长,不同贮藏温度下,大骨鸡肉干的菌落总数均呈上升趋势,且随着贮藏温度的升高,其增长速度也随之加快。37 °C下的菌落生长速率显著高于其他两组($P<0.05$)。GB/T 23969—2022中规定,最大菌落总数值不能超过5.00 lg(CFU/g),大骨鸡肉干在37 °C下贮藏第42天的菌落总数达到5.14 lg(CFU/g),已接近国家规定标准限制,此时已出现胀袋现象;而大骨鸡肉干在4,25 °C贮藏第42天的菌落总数低于国标限量标准,分别为1.65,

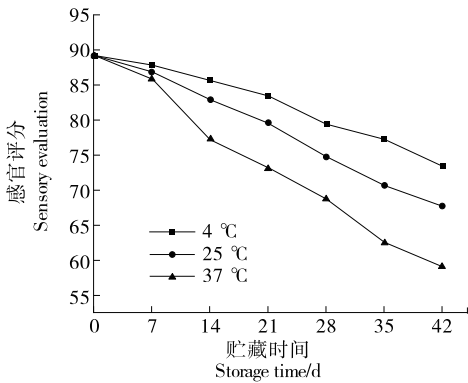


图 8 不同贮藏温度下大骨鸡肉干感官评价变化
Figure 8 Changes in sensory evaluation of Dagu chicken jerky at different storage temperatures

2.88 lg(CFU/g),处于货架期安全范围内。说明贮藏温度对鸡肉干产品菌落总数增长速率有一定影响,低温贮藏能显著抑制微生物的生长^[36],延长鸡肉干的货架期,保证产品在销售期内的品质。

2.3 大骨鸡肉干货架期预测模型的构建

2.3.1 各品质指标相关性分析 Pearson 相关系数越大,表明两个变量之间的相关性越强,即两个指标之间的关联度越高。由表 4~表 6 可知,除 pH 值外,不同贮藏温度下的感官评分与各项指标的 Pearson 相关系数均>0.9,说明指标间相关性较好。其中 TBARS 值、菌落总数和 TVB-N 值与感官总体评分之间的相关性较其他指标更高,在 3 种温度下的相关系数分别为 0.999,0.993,0.997;0.993,0.996,0.993;0.990,0.995,0.990,为极显著负相关。因此,选取以 TBARS 值、菌落总数和 TVB-N 值为主要品质指

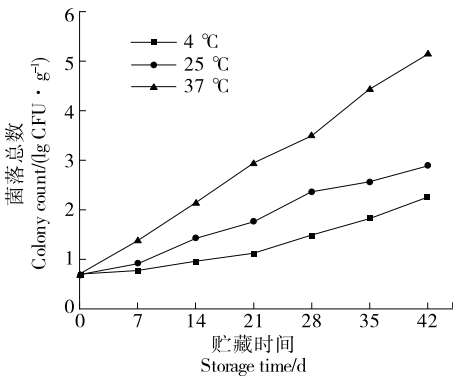


图 9 不同贮藏温度下大骨鸡肉干菌落总数的变化
Figure 9 Changes in colony count of Dagu chicken jerky at different storage temperatures

标,加以预测大骨鸡肉干的货架期。

2.3.2 品质变化动力学分析 应用 IBM SPSS Statistics 26 软件对大骨鸡肉干的 TBARS 值、菌落总数和 TVB-N 值进行线性回归分析,可以得到不同贮藏温度下大骨鸡肉干 TBARS 值、菌落总数和 TVB-N 值的反应速率常数 K 和回归系数 R^2 。由表 7 可知,不同贮藏温度下,大骨鸡肉干的菌落总数、TBARS 值和 TVB-N 值的零级动力学模型 R^2 均>0.97,表明此模型的拟合程度良好。 R^2 愈趋近 1,则线性相关愈高^[23],且零级反应的回归系数 R^2 显著高于一级反应。此外,方程的精确度还可以用各能级方程决定系数之和 ΣR^2 来衡量, ΣR^2 越大,模型的拟合效果越好^[18]。三者的零级动力学方程的 ΣR^2 均大于一级动力学方程的,说明大骨鸡肉干在贮藏期间的 TBARS 值、菌落总数和

表 4 4 °C 下大骨鸡肉干制品货架期各品质指标间的 Pearson 相关性分析

Table 4 Pearson correlation analysis of various quality indicators during shelf life of Dagu chicken jerky products at 4 °C													
项目	感官评分	菌落总数	pH	TBARS	L^*	a^*	b^*	酸价	硬度	弹性	内聚性	咀嚼性	TVB-N
感官评分	1.000	-0.993**	-0.636	-0.999**	-0.983**	-0.986**	0.961**	-0.962**	0.986**	0.983**	0.984**	0.988**	-0.997**
菌落总数		1.000	0.706	0.993**	0.996**	0.997**	-0.929**	0.943**	-0.970**	-0.960**	-0.978**	-0.986**	0.985**
pH			1.000	0.640	0.720	0.707	-0.460	0.456	-0.569	-0.532	-0.572	-0.640	0.603
TBARS				1.000	0.986**	0.989**	-0.963**	0.966**	-0.989**	-0.985**	-0.984**	-0.989**	0.997**
L^*					1.000	0.999**	-0.912**	0.937**	-0.968**	-0.953**	-0.978**	-0.983**	0.975**
a^*						1.000	-0.925**	0.946**	-0.967**	-0.957**	-0.981**	-0.988**	0.980**
b^*							1.000	-0.976**	0.964**	0.981**	0.947**	0.956**	-0.977**
酸价								1.000	-0.967**	-0.970**	-0.968**	-0.955**	0.970**
硬度									1.000	0.995**	0.981**	0.975**	-0.989**
弹性										1.000	0.979**	0.978**	-0.992**
内聚性											1.000	0.989**	-0.985**
咀嚼性												1.000	-0.992**
TVB-N													1.000

表5 25℃下大骨鸡肉干制品货架期各品质指标间的 Pearson 相关性分析

Table 5 Pearson correlation analysis of various quality indicators during shelf life of Daggu chicken jerky products at 25℃

项目	感官评分	菌落总数	pH	TBARS	L^*	a^*	b^*	酸价	硬度	弹性	内聚性	咀嚼性	TVB-N
感官评分	1.000	-0.996**	-0.709	-0.993**	-0.989**	-0.989**	0.937**	-0.965**	0.987**	0.980**	0.985**	0.974**	-0.993**
菌落总数		1.000	0.669	0.987**	0.976**	0.973**	-0.944**	0.976**	-0.985**	-0.986**	-0.986**	-0.954**	0.995**
pH			1.000	0.720	0.750	0.756*	-0.442	0.500	-0.755*	-0.624	-0.618	-0.754	0.624
TBARS				1.000	0.992**	0.984**	-0.934**	0.954**	-0.993**	-0.986**	-0.985**	-0.977**	0.983**
L^*					1.000	0.994**	-0.909**	0.935**	-0.988**	-0.966**	-0.969**	-0.995**	0.974**
a^*						1.000	-0.908**	0.930**	0.979**	-0.949**	-0.958**	-0.992**	0.974**
b^*							1.000	-0.983**	0.906**	0.953**	0.960**	0.891**	-0.966**
酸价								1.000	-0.935**	-0.976**	-0.982**	-0.912**	0.987**
硬度									1.000	0.975**	0.967**	0.971**	-0.973**
弹性										1.000	0.996**	0.941**	-0.981**
内聚性											1.000	0.948**	-0.987**
咀嚼性												1.000	-0.956**
TVB-N													1.000

表6 37℃下大骨鸡肉干制品货架期各品质指标间的 Pearson 相关性分析

Table 6 Pearson correlation analysis of various quality indicators during shelf life of Daggu chicken jerky products at 37℃

项目	感官评分	菌落总数	pH	TBARS	L^*	a^*	b^*	酸价	硬度	弹性	内聚性	咀嚼性	TVB-N
感官评分	1.000	-0.995**	-0.678	-0.990**	-0.989**	-0.989**	0.959**	-0.989**	0.969**	0.989**	0.987**	0.977**	-0.990**
菌落总数		1.000	0.708	0.991**	0.983**	0.987**	-0.945**	0.986**	-0.981**	-0.992**	-0.993**	-0.988**	0.995**
pH			1.000	0.758*	0.676	0.720	-0.469	0.599	-0.826*	-0.681	-0.702	-0.786*	0.734
TBARS				1.000	0.991**	0.996**	-0.928**	0.972**	-0.989**	-0.989**	-0.978**	-0.988**	0.996**
L^*					1.000	0.997**	-0.964**	0.983**	-0.963**	-0.990**	-0.964**	-0.968**	0.991**
a^*						1.000	-0.949**	0.977**	-0.978**	-0.987**	-0.968**	-0.980**	0.997**
b^*							1.000	-0.979**	0.878**	0.951**	0.925**	0.901**	-0.942**
酸价								1.000	-0.945**	-0.990**	-0.982**	-0.962**	0.977**
硬度									1.000	0.969**	0.974**	0.997**	-0.985**
弹性										1.000	0.985**	0.976**	-0.989**
内聚性											1.000	0.984**	-0.978**
咀嚼性												1.000	-0.988**
TVB-N													1.000

TVB-N值的变化规律更接近于零级反应动力学模型。

2.3.3 TBARS值、菌落总数和TVB-N值的Arrhenius方程的建立 4, 25, 37℃下大骨鸡肉干的TBARS值、菌落总数和TVB-N值的变化速率常数 k 分别为0.013, 0.017, 0.032; 0.032, 0.054, 0.106; 0.102, 0.147, 0.289。根据Arrhenius方程 $\ln K = \ln K_0 - E_a/RT$ 作图。

由图10可知,大骨鸡肉干TBARS值变化的线性方程为 $y = 3.409\ 3 - 2\ 168.375\ 3x$ ($R^2 = 0.838\ 4$)。 $-E_a/R = -2\ 168.375\ 3$, $\ln K = 3.409\ 3$, $E_a = -18\ 027.872\ 2$ kJ/mol,

$K_0 = 30.244\ 1$ 。将 E_a 和 K_0 值代入Arrhenius方程 $K = K_0 \exp(-E_a/RT)$ 中得到贮藏期间大骨鸡肉干的菌落总数变化方程 $y = 30.244\ 1 \exp^{(-2\ 168.375\ 3/T)}$ 。

由图11可知,大骨鸡肉干菌落总数变化的线性方程为 $y = 7.226\ 9 - 2\ 973.281\ 1x$ ($R^2 = 0.935\ 4$)。 $-E_a/R = -2\ 973.281\ 1$, $\ln K = 7.226\ 9$, $E_a = -24\ 719.859\ 1$ kJ/mol, $K_0 = 1\ 375.950\ 4$ 。将 E_a 和 K_0 值代入Arrhenius方程 $K = K_0 \exp(-E_a/RT)$ 中得到贮藏期间大骨鸡肉干的菌落总数变化方程 $y = 1\ 375.950\ 4 \exp^{(-2\ 973.281\ 1/T)}$ 。

表 7 大骨鸡肉干在不同贮藏温度下品质变化动力学模型参数

Table 7 Kinetic model parameters for quality changes of Daguchicken jerky at different storage temperatures

指标	贮藏温度/℃	零级动力学方程			一级动力学方程		
		K	R^2	ΣR^2	K	R^2	ΣR^2
TBARS	4	0.013	0.971	2.939	0.037	0.983	2.747
	25	0.017	0.988		0.042	0.926	
	37	0.032	0.980		0.055	0.832	
菌落总数	4	0.032	0.971	2.955	0.028	0.990	2.712
	25	0.054	0.986		0.037	0.892	
	37	0.106	0.998		0.051	0.830	
TVB-N	4	0.102	0.985	2.966	0.021	0.989	2.778
	25	0.147	0.988		0.026	0.903	
	37	0.289	0.993		0.039	0.886	

由图 12 可知,大骨鸡肉干 TVB-N 值变化的线性方程为 $y=6.800\ 2-2\ 537.020\ 7x$ ($R^2=0.879\ 3$)。 $-E_a/R=-2\ 537.020\ 7$, $\ln K=6.800\ 2$, $E_a=-21\ 092.791\ 0\ \text{kJ/mol}$, $K_0=898.026\ 9$ 。将 E_a 和 K_0 值代入 Arrhenius 方程 $K=K_0\exp^{(-E_a/RT)}$ 中得到贮藏期间大骨鸡肉干的菌落总数变化方程 $y=898.026\ 9\exp^{(-2\ 537.020\ 7/T)}$ 。

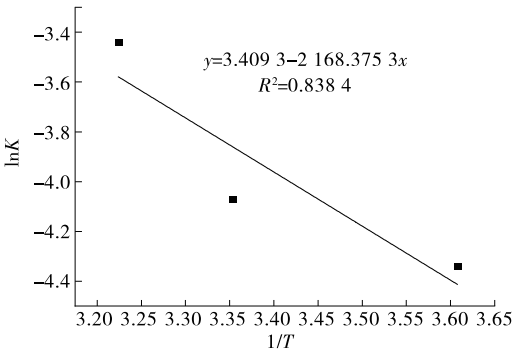


图 10 大骨鸡肉干 TBARS 值 Arrhenius 拟合方程
Figure 10 Arrhenius fitting equation for TBARS value of Daguchicken jerky

2.3.4 基于菌落总数、TBARS 值和 TVB-N 值建立大骨鸡肉干的货架期预测模型 大骨鸡肉干的菌落总数、TBARS 值和 TVB-N 值的初始值分别为 0.67 lg(CFU/g)、0.17 mg/kg、3.35 mg/100 g。根据 GB/T 23969—2022 以及文献[37—38],结合贮藏期试验结果,选取菌落总数终点限值 5 lg(CFU/g)、TBARS 终点限值 1.5 mg/kg、TVB-N 终点限值 15 mg/100 g。将计算出的菌落总数、TBARS 值和 TVB-N 值中所对应的 E_a 和 K_0 值分别代入零级反应动力学方程,得到菌落总数、TBARS 值、TVB-N 值的货架期预测模型:

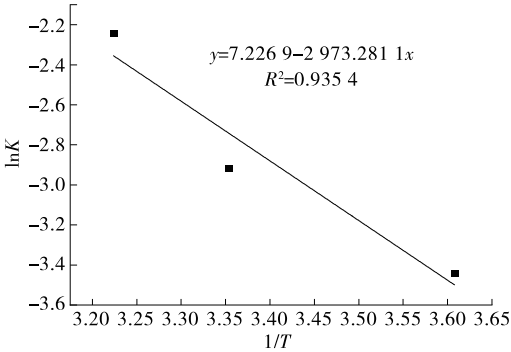


图 11 大骨鸡肉干菌落总数 Arrhenius 拟合方程
Figure 11 Arrhenius fitting equation for colony count of Daguchicken jerky

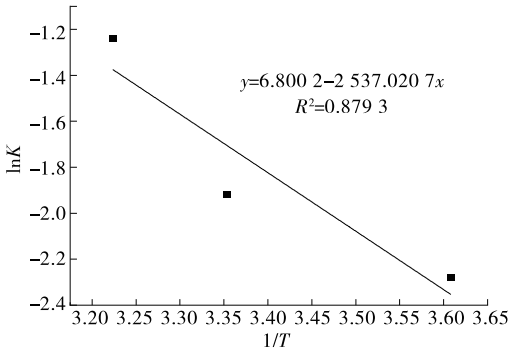


图 12 大骨鸡肉干 TVB-N 值 Arrhenius 拟合方程
Figure 12 Arrhenius fitting equation for TVB-N value of Daguchicken jerky

$SL_{\text{菌落总数}}=4.33/1\ 375.950\ 4\exp^{(-2\ 973.281\ 1/T)}$, (10)

$SL_{\text{TBARS}}=1.33/30.244\ 1\exp^{(-2\ 168.375\ 3/T)}$, (11)

$SL_{\text{TVB-N}}=11.65/898.026\ 9\exp^{(-2\ 537.020\ 7/T)}$ 。 (12)

2.3.5 大骨鸡肉干货架期预测模型的验证 通过对 4~37℃下大骨鸡肉干货架期实测值与应用货架期预测模型计算值比较,进行货架期预测模型的验证。

表 8 不同贮藏温度下各指标的货架期预测值和实测值
Table 8 Predicted and measured shelf life values of various indicators at different storage temperatures

指标	贮藏温度/℃	货架期预测值/d	货架期实测值/d	相对误差/%
菌落总数	4	143	133	7.52
	25	68	72	5.55
	37	46	42	9.52
TBARS	4	110	133	17.29
	25	64	72	11.11
	37	48	42	14.29
TVB-N	4	122	133	8.27
	25	65	72	9.72
	37	46	42	9.52

由表8可知,以菌落总数和TVB-N为品质评价指标的货架期预测模型的预测相对误差最大为9.52%和9.72%,误差较小,且在允许的范围之内;以TBARS值为品质评价指标的货架期预测模型的预测相对误差均>10%,说明基于TBARS值构建的货架期预测模型并不适用于大骨鸡肉干。其中,基于TBARS值得到的动力学货架期模型预测误差率大于基于菌落总数的,主要是因为鸡肉干中添加了大量的香辛调味料,这些物质很容易生成碱性含氮挥发性物质,且在高温贮藏过程中,油脂也会发生氧化,从而影响货架期的准确性^[39]。因此,选择以菌落总数和TVB-N值为品质指标的货架期预测模型可以较好地预测4~37℃下的大骨鸡肉干货架期。

3 结论

以真空包装大骨鸡肉干为研究对象,探究了不同贮藏温度(4,25,37℃)下大骨鸡肉干贮藏期间品质变化,并以菌落总数、硫代巴比妥酸值和挥发性盐基氮值为品质指标构建了大骨鸡肉干的货架期模型。结果表明,真空包装大骨鸡肉干样品在不同贮藏温度下的 a^* 、 b^* 、酸价、硫代巴比妥酸值、挥发性盐基氮值和菌落总数均随着贮藏时间的延长呈上升趋势,感官评分和 L^* 值呈下降趋势,pH值呈先降低后升高趋势,鸡肉干硬度和弹性逐渐下降。通过对大骨鸡肉干中各指标进行Pearson相关性分析,选取菌落总数、硫代巴比妥酸值和挥发性盐基氮值作为货架期预测模型的关键品质评价指标,利用零级动力学模型和Arrhenius方程建立大骨鸡肉干货架期预测模型分别为 $SL_{\text{菌落总数}} = |A - A_0| / 1\,375.950\,4 \exp^{(-2\,973.288\,1/T)}$, $SL_{\text{TBARS}} = |A - A_0| / 30.244\,1 \exp^{(-18\,027.872\,2/T)}$ 和 $SL_{\text{TVB-N}} = 11.65 / 898.026\,9 \exp^{(-2\,537.020\,7/T)}$ 。经验证,以硫代巴比妥酸值作为品质指标建立的货架期模型,其相对误差在10%以上;以菌落总数和挥发性盐基氮值为品质指标建立的模型实测结果与预测结果之间的相对误差范围为5.55%~9.72%,模型拟合效果较好,能够对4~37℃下大骨鸡肉干的贮藏期进行准确预测。

后续将以实际贮藏环境中大骨鸡肉干品质的动态变化规律为核心,通过系统分析不同温度条件下微生物指标与理化指标间的相关性,优化现有预测模型的精确度和适用性,显著提升其在实际生产和贮藏中的应用价值。

参考文献

[1] 李锋涛,高岩,邹佩文. 辽宁庄河大骨鸡种质资源保护与利用[J]. 中国动物保健, 2012, 14(9): 6-7.
LI F, GAO Y, ZOU P W. Protection and utilization of Liaoning Zhuanghe big bone chicken germplasm resources[J]. China

Animal Health, 2012, 14(9): 6-7.

- [2] 吴健,王廷英,刘栋林,等. 庄河大骨鸡新品系选育与推广[Z]. 辽宁省,辽宁庄河大骨鸡原种场有限公司, 2012-10-25.
WU J, WANG T Y, LIU D L, et al. Breeding and promotion of new strains of Zhuanghe big bone chicken[Z]. Liaoning Province, Liaoning Zhuanghe Big Bone Chicken Seed Farm Co., Ltd., 2012-10-25.
- [3] 张喜凡,玉富全. 介绍两个各具地方特色的良种鸡[J]. 农村百事通, 2008(12): 42, 77.
ZHANG X F, YU F Q. Introduce two high-quality chickens with unique local characteristics[J]. Rural Know-it-All, 2008 (12): 42, 77.
- [4] 张益卓,李腾,陈菲菲,等. 肉干品种及肉干保藏技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2021, 42(20): 440-448.
ZHANG Y Z, LI T, CHEN F F, et al. Research progress of meat jerky varieties and meat jerky preservation technology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(20): 440-448.
- [5] SILVA F A P, ESTÉVEZ M, FERREIRA V C S, et al. Protein and lipid oxidations in jerky chicken and consequences on sensory quality[J]. LWT-Food Science and Technology, 2018, 97: 341-348.
- [6] 王唯,赵武奇,田媛,等. 神仙豆腐的货架期预测模型[J]. 食品与机械, 2024, 40(7): 94-102.
WANG W, ZHAO W Q, TIAN Y, et al. Shelf-life prediction model of *Premna microphylla* Turez jelly[J]. Food & Machinery, 2024, 40(7): 94-102.
- [7] 张建友,赵瑜亮,张梦雨,等. 不同贮藏温度酱鸭品质变化及其货架期预测[J]. 食品科学, 2019, 40(5): 250-257.
ZHANG J Y, ZHAO Y L, ZHANG M Y, et al. Quality changes and predictive modeling of shelf life of sauced duck stored at different temperatures[J]. Food Science, 2019, 40(5): 250-257.
- [8] LAKSANAWATI T A, KHIRZIN M H, MEIDAYANTI K, et al. Prediction of shelf-life and sensory qualities of beef meatball with biodegradable taro starch-duck bone gelatin packaging at different storage temperatures[J]. Applied Food Research, 2024, 4(1): 100402.
- [9] ROHAYA S, RAHMAT F, SULAIMAN I. Shelf-life prediction of chicken nuggets based on the thickness level of composite plastic packaging using accelerated shelf-life testing (ASLT) method by the Arrhenius equation approach[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2024, 1 297(1): 23111.
- [10] PARK J H, CHA Y J, KIM S J, et al. Shelf life prediction of vacuum-packaged grilled mackerel[J]. Preventive Nutrition and Food Science, 2023, 28(2): 200-208.
- [11] 李娜,谢晶,梅俊. 不同贮藏温度下半滑舌鳎货架期预测模型建立与评价[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 119-125.

- LI N, XIE J, MEI J. Establishment and evaluation of shelf life prediction model for half-smooth tongue sole (*Cynoglossus semilaevis*) at different storage temperatures[J]. Food & Machinery, 2018, 34(11): 119-125.
- [12] 谢进, 曹新志, 杨建刚, 等. 即食烧鹅胸肉的贮藏品质研究[J]. 现代食品科技, 2024, 40(11): 210-218.
- XIE J, CAO X Z, YANG J G, et al. Study on the storage quality of ready-to-eat deep-fried goose breast[J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(11): 210-218.
- [13] 薛伟锋, 沈葆真, 田卓, 等. Global Stability Index 方法在大骨鸡保质期预测中的应用[J]. 中国食物与营养, 2021, 27(4): 26-30.
- XUE W F, SHEN B Z, TIAN Z, et al. Application of global stability index method in shelf-life prediction for Zhuanghe Dagu chicken[J]. Food and Nutrition in China, 2021, 27(4): 26-30.
- [14] LI F H, WU S J, XU B. Preservation of stewed beef chunks by using ϵ -polylysine and tea polyphenols[J]. LWT-Food Science and Technology, 2021, 147: 111595.
- [15] 梁慧. 冷鲜三黄鸡胸肉冷藏过程中品质变化及调控研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2016: 18-19.
- LIANG H. Study on the quality changes and regulation of cold fresh Sanhuang chicken[D]. Guangzhou: Zhongkai University of Agriculture and Engineering, 2016: 18-19.
- [16] WANG H, GAO Z, GUO X, et al. Changes in textural quality and water retention of spiced beef under ultrasound-assisted sous-vide cooking and its possible mechanisms[J]. Foods, 2022, 11(15): 2 251.
- [17] GUI P, ZHANG L T, HONG H, et al. Gel properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) and chicken mixture gels as affected by setting temperatures[J]. International Journal of Food Properties, 2018, 21(1): 2 250-2 264.
- [18] 黄业传, 王洋, 苟兴能, 等. 不同贮藏温度下两种发酵香肠品质变化及货架期预测模型的建立[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 343-351.
- HUANG Y C, WANG Y, GOU X N, et al. The quality changes of two fermented sausages under different storage temperatures and the establishment of prediction models for their shelf life[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(7): 343-351.
- [19] 袁静宇, 张毅. 不同干制方式对鸡肉干品质及风味的影响[J]. 食品科技, 2023, 48(2): 130-135.
- YUAN J Y, ZHANG Y. Effect of different drying methods on the quality and flavor of chicken jerky[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(2): 130-135.
- [20] ELGENDY A E T, ABDEL-ATY A H, YOUSSEF A A, et al. Exact solution of Arrhenius equation for non-isothermal kinetics at constant heating rate and n-th order of reaction[J]. Journal of Mathematical Chemistry, 2020, 58(5): 922-938.
- [21] 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: 67-68.
- PENG J B. Study on the process optimization and shelf life prediction of fermented mutton jerky[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021: 67-68.
- [22] 梁雪微. 复合核桃羊肉脯的加工工艺研究及货架期预测[D]. 重庆: 西南大学, 2023: 61-62.
- LIANG X W. Study on processing technology and shelf life prediction of composite walnut and sheep meat slice[D]. Chongqing: Southwest University, 2023: 61-62.
- [23] 柴利. 发酵兔肉脯工艺优化及货架期预测研究[D]. 重庆: 西南大学, 2023: 50-51.
- CHAI L. Study on the process improvement and shelf life forecasting for fermented rabbit jerky[D]. Chongqing: Southwest University, 2023: 50-51.
- [24] 杨爽, 杨萍, 徐琳, 等. 超高压处理协同低温贮藏对卤牛肉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(21): 334-343.
- YANG S, YANG P, XU L, et al. Effect of ultra-high pressure combined with low temperature storage on quality of marinated beef[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(21): 334-343.
- [25] 高哲, 魏紫仪, 孙亚赛, 等. 山楂膳食纤维烤肠的研制及货架期预测模型的建立[J]. 食品科技, 2023, 48(3): 140-146.
- GAO Z, WEI Z Y, SUN Y S, et al. Preparation on hawthorn fiber composite baked sausage and establishment of shelf-life prediction model[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(3): 140-146.
- [26] 刘平云, 王军茹, 丁一丹, 等. 天然复配保鲜剂及其与真空包装协同作用对预调理猪肉馅货架期的影响[J]. 食品与机械, 2022, 38(5): 119-126.
- LIU P Y, WANG J R, DING Y D, et al. Effects of natural compound preservative and its vacuum synergy on the shelf life of pre-conditioned pork filling stuffing[J]. Food & Machinery, 2022, 38(5): 119-126.
- [27] 张慧敏, 孔欣欣, 郭楠楠, 等. 梅菜扣肉预制菜贮藏过程中品质变化研究[J]. 食品科技, 2024, 49(11): 150-156.
- ZHANG H M, KONG X X, GUO N N, et al. Quality changes of prepared braised pork with preserved vegetable during storage [J]. Food Science and Technology, 2024, 49(11): 150-156.
- [28] 谢兆华. 酥肉挂糊油炸工艺参数优化及贮藏期品质变化的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2023: 84-85.
- XIE Z H. Study on the optimization of frying process parameters and quality changes of crispy meat with batter during storage[D]. Chongqing: Southwest University, 2023: 84-85.
- [29] FAN L C, XIAN C N, TANG S J, et al. Effect of frozen storage temperature on lipid stability of hepatopancreas of Eriocheir

- sinensis[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2022, 154: 112513.
- [30] GUO X, WANG Y Q, LU S L, et al. Changes in proteolysis, protein oxidation, flavor, color and texture of dry-cured mutton ham during storage[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2021, 149(Suppl C): 111860.
- [31] 黄业传, 孙梦. 辐照杀菌对低盐切片腊肉风味及理化性质的影响[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(5): 89-99.
- HUANG Y C, SUN M. Effect of irradiation sterilization on flavor and physicochemical properties of low-salt sliced bacon [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(5): 89-99.
- [32] 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.
- [33] 郑荣美. 低温调理白切香猪肉风味品质影响关键因素及货架期研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2023: 64-65.
- ZHENG R M. Research on key factors and shelf life of flavor quality of low temperature processed white cut fragrant pork [D]. Guiyang: Guizhou University, 2023: 64-65.
- [34] XU C Y, WANG Y, PAN D D, et al. Effect of cooking temperature on texture and flavour binding of braised sauce porcine skin[J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2021, 56(4): 1 690-1 702.
- [35] YANG L H, GUO Z L, LI W Z, et al. The impact of lemon seeds oil microcapsules based on a bilayer macromolecule carrier on the storage of the beef jerky[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2022, 32: 100838.
- [36] 唐梦君, 周倩, 张小燕, 等. 冷鲜鸡在微冻贮藏过程中的菌群结构变化[J]. *现代食品科技*, 2023, 39(9): 81-87.
- TANG M J, ZHOU Q, ZHANG X Y, et al. Changes in microbial community structure of chilled chicken during a partially frozen storage[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2023, 39(9): 81-87.
- [37] 李江华. 肉与肉制品中挥发性盐基氮的测定[J]. *肉类研究*, 2018, 32(1): 3-4.
- LI J H. Determination of volatile basic nitrogen in meat and meat products[J]. *Meat Research*, 2018, 32(1): 3-4.
- [38] STEPPELER C, HAUGEN J E, RØDBOTTEN R, et al. Formation of malondialdehyde, 4-hydroxynonenal, and 4-hydroxyhexenal during in vitro digestion of cooked beef, pork, chicken, and salmon[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2016, 64(2): 487-496.
- [39] 丁捷, 胡欣洁, 卢雪松, 等. 糊辣牛肉在不同温度条件下的贮藏特性及其货架期预测[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(3): 122-132, 104.
- DING J, HU X J, LU X S, et al. Storage characteristics and shelf-life prediction of spicy beef under different storage temperatures[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(3): 122-132, 104.