

冷藏条件下鸡胸肉品质变化及新鲜度评价模型的构建

刘丹飞¹, 李晓璇¹, 蒲玉梅¹, 陈思源¹, 张昌凡^{1*}, 钟云飞^{1,2*}

(1. 湖南工业大学包装与材料工程学院, 株洲 412007; 2. 长沙银腾塑印包装有限公司, 长沙 410600)

摘要: **目的** 分析冷藏过程中鸡胸肉新鲜度评价指标并构建新鲜度评价模型。**方法** 以新鲜鸡胸肉为对象, 通过对其在 4℃冷藏过程中的 pH、挥发性基盐氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)值、菌落总数(total viable count, TVC)和感官评分等指标进行测试, 分析鸡胸肉在 4℃贮藏过程中的新鲜度变化特性。通过主成分分析法、层次聚类分析法和判别分析法等多元统计方法, 对鸡胸肉多项新鲜度评价指标的信息进行分析, 并搭建新鲜度评价模型。**结果** 通过多元统计方法和新鲜度评价模型分析发现, 鸡胸肉在 4℃冷藏条件下贮藏过程中, 0~2 d 为新鲜, 3~5 d 为中度新鲜度, 6~8 d 为腐败。**结论** 该结果可为鸡胸肉贮藏过程中新鲜度的相关研究提供理论依据, 为其他肉类食品贮藏过程中新鲜度评价模型的构建提供借鉴意义, 并有助于减少食品浪费和食源性疾病。

关键词: 鸡胸肉; 新鲜度评价指标; 新鲜度评价模型; 冷藏

Development of a freshness evaluation model and quality changes in chicken breast during refrigeration conditions

LIU Dan-Fei¹, LI Xiao-Xuan¹, PU Yu-Mei¹, CHEN Si-Yuan¹,
ZHANG Chang-Fan^{1*}, ZHONG Yun-Fei^{1,2*}

[1. School of Packaging and Materials Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, China;
2. Yinteng Packing (Changsha) Co., Ltd., Changsha 410600, China]

ABSTRACT: Objective To analyze freshness evaluation indexes for refrigerated chicken breast and construct a freshness evaluation model. **Methods** The freshness characteristics of chicken breasts were analyzed during storage at 4℃ by testing pH, total volatile base nitrogen (TVB-N) value, total viable count (TVC) and sensory score, which were commonly used for freshness and quality evaluation of meat products. By utilizing multivariate statistical

基金项目: 湖南省研究生科研创新项目(CX20231098)、国家重点研发计划项目(2018YFD0400705)、湖南省自然科学基金项目(2021JJ30218)、湖南省高等学校产业化培育项目(15CY003)

Fund: Supported by the Postgraduate Scientific Research Innovation Project of Hunan Province (CX20231098), the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0400705), the Natural Science Foundation of Hunan Province (2021JJ30218), and the Training Project of Hunan Industrial Application of Higher Education Institution (15CY003)

*通信作者: 张昌凡, 教授, 主要研究方向为智能包装技术。E-mail: zcf@hut.edu.cn

钟云飞, 教授, 主要研究方向为包装智能设计和包装防伪技术, 先进印刷包装材料与技术。E-mail: yfzhong@hut.edu.cn

*Corresponding author: ZHANG Chang-Fan, Professor, Hunan University of Technology, No.88, Taishan Road, Tianyuan District, Zhuzhou 412007, China. E-mail: zcf@hut.edu.cn

ZHONG Yun-Fei, Professor, Hunan University of Technology, No.88, Taishan Road, Tianyuan District, Zhuzhou 412007, China; Yinteng Packing (Changsha) Co., Ltd., Economic and Technological Development Zones on Xie Yuan North Road, Ningxiang, Changsha 410600, China. E-mail: yfzhong@hut.edu.cn

techniques, including principal component analysis, hierarchical cluster analysis and discriminant analysis, the data from various freshness evaluation indices of chicken breast was analyzed and a freshness evaluation model was built. **Results** Through the utilization of multivariate statistical analysis and a freshness evaluation model, it was determined that chicken breast stored at 4°C remained fresh for up to 2 days, maintained moderate freshness for 3–5 days, and experienced spoilage after 6–8 days. **Conclusion** The findings can serve as a theoretical foundation for investigating the freshness of chicken breast during storage, and offer implications for constructing freshness assessment models for other meat products during storage, thereby contributing to the reduction of food waste and foodborne illnesses.

KEY WORDS: chicken breast; freshness evaluation index; freshness evaluation model; refrigeration

0 引 言

鸡肉由于脂肪含量低、蛋白质含量高、营养价值高、易消化等特点而成为中国最受欢迎的肉制品之一^[1]。鸡肉中含有丰富的营养成分和较高的水分,在生产、储存、配送和运输过程中,由于大气氧化、微生物和内源酶的共同作用极易发生腐败变质^[2–3]。消费者食用不新鲜或变质的鸡肉会损害人体健康和产生食源性疾病^[4]。因此,鸡肉的质量和安

全越来越受到消费者的重视。

肉类的腐败通常是由微生物和酶共同作用导致其中的蛋白质和脂肪分解从而产生大量挥发性基盐氮(total volatile base nitrogen, TVB-N)、H₂S、CO₂以及短链的具有不良刺激气味的脂肪酸(丁酸)等^[5–7]。因此,TVB-N值通常被用于评价肉类新鲜度的常用指标之一,其值会随着肉类的新鲜度变化而发生改变^[8–9]。此外,新鲜度可以通过其他多种指标来定义,包括菌落总数(total viable count, TVC)、生物胺指数、脂质氧化程度和感官评分等^[10–11]。感官评分是工业和零售配送中最常用的肉类和肉制品新鲜度评价方法^[12–14]。KANATT^[15]在将活性智能包装膜应用于鸡肉/鱼肉的新鲜度监测过程中,通过对鸡肉/鱼肉新鲜度相关质量指标(TVC、TVB-N和pH)分析来进一步验证智能包装膜的监测效果时,都是基于鸡肉/鱼肉的单一指标分析其新鲜度变化从而确认智能包装膜的应用效果。HASHIM等^[16]通过TVB-N值分析虾在25°C贮藏24 h过程中的新鲜度变化,从而验证比色膜新鲜度监测应用效果。胡云峰等^[17]研究了猪肉糜在贮藏过程中的TVB-N值、pH、汁液流失和色差值的变化规律,建立了pH与TVB-N值之间的线性关系,从而通过测量pH获取肉糜的TVB-N值,确定其新鲜度。当前的研究大多是通过单一指标或多个单项指标对肉类食品的新鲜度进行评价分析,但由于单一指标通常具有片面性和限制性从而无法对肉类新鲜度的变化实现综合评价和等级划分。通过多元统计方法[主成分分析(principal component analysis, PCA)、层次聚类分析(hierarchical cluster analysis, HCA)、Fisher判别分析(Fisher's linear discriminant analysis, LDA)],对多个新鲜度相关的质量属

性指标进行综合分析从而对肉类食品的新鲜度做出有效判断,可以解决单项质量指标信息片面和不足的问题^[18]。

本研究以鸡胸肉为研究对象,对其在4°C冷藏过程中的TVB-N值、TVC值、pH进行分析,并与感官评分、色泽变化结合从而确定鸡胸肉在冷藏过程中的新鲜度变化特性,之后通过PCA、HCA和LDA,构建鸡肉冷藏过程中新鲜度评价模型,为后续其他肉类食品新鲜度变化的研究及相关智能包装技术的开发奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜鸡胸肉:株洲沃尔玛超市。

琼脂、氢氧化钠、氧化镁、甲基红、硼酸(分析纯)、三水亚甲基蓝(指示剂级)(上海阿拉丁生化股份有限公司);LB肉汤培养基[特级,生工生物工程(上海)股份有限公司];盐酸(化学纯)、乙醇(分析纯)(国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

AR224CN电子天平[精度0.00001 g,奥豪斯仪器(上海)有限公司];DF-101S集热式恒温加热磁力搅拌器(巩义市予华仪器有限责任公司);S212-90变频调速搅拌机(上海申生科技有限公司);TG16-WS离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司);PHS-3CB pH计(上海越平科学仪器有限公司);FSH-2A均质仪(常州市亿能实验仪器厂);S1-M81小型粉碎机(九阳股份有限公司);PRX400D恒温培养箱(宁波赛福实验仪器有限公司);BCD-216STPT海尔冰箱(海尔集团);DSX-280B高压蒸汽灭菌器(上海申安医疗器械厂);X-rite 530色差仪(美国爱色丽公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 冷藏条件下鸡胸肉的贮藏实验

取新鲜鸡胸肉切成大小均匀的块状(100 g±5 g),放入灭菌的聚丙烯保鲜盒(14.8 cm×22.7 cm×7.6 cm)中,上部盖膜为聚乙烯保鲜膜,氧气透过率为15000±30% cm³/(m²·24 h·0.1 MPa),

置于 4℃冰箱中保存。每隔 1 d 取样品测试各项相关指标, 每个取样点准备 3 组样品, 每项指标做 3 次平行。

1.3.2 挥发性盐基氮的测定

根据 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的半微量定氮法测定冷藏条件下鸡胸肉的 TVB-N 值, 结果以 mg/100 g 表示。

样品用均质仪搅碎均质, 取 20 g 与 50 mL 去离子水混合搅拌并浸泡 30 min, 之后经滤纸过滤得到滤液。空白对照组用蒸馏水代替滤液进行测试。取 5 mL 滤液加入蒸馏瓶中, 再加入 20 mL 氧化镁溶液(4 g/L), 同时加入碎瓷片防止溶液沸腾。将蒸馏物收集到含 0.05 mL 混合指示剂(0.2 g 亚甲基蓝和 0.2 g 甲基红溶解在 100 mL 乙醇中)的 30 mL 硼酸溶液(0.03 g/L)中, 最后, 用盐酸溶液(0.05 mol/L)滴定混合物, 直到显示为紫色。TVB-N 值可根据式(1)计算:

$$T=\frac{(V_1-V_2)\times C\times 14}{m\times 5/100}\times 100$$
 (1)

式(1)中, T 是 TVB-N 值(mg/100 g); C 是盐酸浓度; V₁ 是用于测试样品的盐酸体积(mL); V₂ 是空白样品中使用的盐酸体积(mL); m 是样品重量(g)。

1.3.3 pH 的测定

根据陈慧芝^[18]的方法, 将 5 g 样品在 30 mL 去离子水中匀浆。过滤后, 离心取上清液用 pH 计每天 3 次测定样品的 pH。

1.3.4 菌落总数的测定

根据 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》的方法测定样品在贮藏过程中的 TVC。取 25 g 样品与 225 mL 的无菌磷酸盐缓冲液混合均质 3 min, 用相同的磷酸盐缓冲盐溶液进行 10 倍系列稀释, 将 1 mL 适当稀释倍数的样品倒或摊在消毒的玻璃培养皿上, 与 15 mL 平板计数琼脂培养基混合。两个平行样品在相同的稀释比下进行。待琼脂培养基凝固后, 将平板倒置, 在恒温培养箱中 37℃培养 48 h。总活菌数以每克菌落形成单位(CFU/g)表示。

1.3.5 感官评分的测定

选择 6 名感官评价员组成感官评价小组, 在感官评价之前, 先对小组成员进行培训。通过评价小组对新鲜鸡胸肉进行打分, 来判断食品的新鲜度。表 1 为冷藏鸡胸肉的评分表^[19]。

1.3.6 色泽的测定

参考牛力等^[20]测定鸡胸肉色泽的方法, 取 1 cm 厚度

的鸡胸肉暴露于空气中 10 min, 之后利用色差仪测定鸡胸肉样品的 L*(亮度值)、a*(红度值)、b*(黄度值)。每个样品测量 3 个不同位置的颜色值, 重复测量 3 次。

1.4 统计分析

所有测试结果以平均值±标准偏差表示。采用 SPSS 23.0 软件对数据进行 0.05 水平分析, 采用单因素方差分析(one-way analysis of variance, ANOVA)评价统计学意义。使用 SPSS 23.0 进行 PCA、HCA 和 LDA。

(1)主成分分析

PCA 是一种常用的数据降维方法^[21]。根据之前的研究使用 PCA 对鸡胸肉贮藏过程中的相关质量品质信息进行分析^[22]。

(2)层次聚类分析

HCA 是通过相似性计算多个变量之间的相似性, 根据变量之间的相似性逐步聚合, 按照不同距离将变量划分成不同的变量组, 从而研究变量之间的相似性^[23]。根据之前的研究使用 HCA 对鸡胸肉的相关质量品质信息进行分析^[24]。

(3) Fisher 判别分析

LDA 是一种既可用于分类问题, 又可用于有监督的特征降维线性学习方法^[25]。LDA 根据其已知的数据特征, 建立线性组合函数, 用于鸡胸肉新鲜度的判断分类^[26]。随机选取 90 组数据用于 LDA 的数据来源, 其中建模样本为 60 个, 预测集样本为 30 个。

2 结果与分析

2.1 鸡胸肉冷藏过程中理化指标分析

2.1.1 TVB-N 值变化

鸡肉中含有大量蛋白质和游离氨基酸, 有利于细菌和微生物的生长^[27]。游离氨基酸可以通过氧化脱氨、脱羧和脱硫等作用转化为气体, 如 NH₃、CO₂ 和 H₂S^[28]。在微生物生长产生的各种蛋白质分解产物中, TVB-N 常被用作评价产品质量和保质期的化学指标^[29]。鸡肉在冷藏贮藏期间的 TVB-N 值变化表 2 所示。根据 GB 2707—2016《食品安全国家标准 鲜(冻)畜、禽产品》中要求, 新鲜冷藏禽肉的 TVB-N 值上限为 15 mg/100 g。随着贮藏时间的增加, 鸡肉样品的 TVB-N 值逐渐增加。鸡肉样品的初始 TVB-N 值

表 1 冷藏鸡胸肉感官评分表
Table 1 Sensory score of chilled chicken breast

评分项目	5	4	3	1
体表面色泽	粉色, 有光泽	粉色, 略有光泽	暗红色, 无光泽	暗红色, 无光泽
表面情况	水分充足, 不发黏	水分减少, 不发黏	水分明显减少, 略微发黏	表面干燥, 发黏
弹性	按压后立即恢复	按压后恢复稍慢	按压后缓慢恢复	按压后恢复非常慢或不能恢复
气味	鸡肉固有鸡腥味, 无其他异味	鸡肉腥味, 无异常气味	鸡肉腥味中略带异味	异味强烈

为(5.62±0.21) mg/100 g, 贮藏第 1 d 的 TVB-N 值为(8.29±0.49) mg/100 g, 小于 10 mg/100 g, 这说明样品是新鲜的; 在贮藏期第 2~4 d, 样品的 TVB-N 值仍小于 15 mg/100 g, 说明样品仍然为新鲜状态。贮藏第 6~8 d 后, 鸡肉样品的 TVB-N 值大于 15 mg/100 g, 超过了标准所规定的新鲜冷藏禽肉的 TVB-N 值上限。因此, 鸡肉样品处于变质期, 食用后存在危害人体健康的风险。该研究结果与 KUSWANDI 等^[30]对鸡肉冷藏过程中 TVB-N 值变化趋势的研究类似。

2.1.2 pH 变化

pH 直接影响鸡胸肉的品质, 如汁液、烹饪损失和保质期, 肉类的 pH 可以反映其新鲜程度^[31]。鸡胸肉在贮藏期间(4℃)的 pH 变化如表 2 所示。随着贮藏时间的增加, 冷藏下鸡胸肉的 pH 呈现先降低后增加的趋势。鸡胸肉的初始 pH 为 5.95±0.02, 在贮藏期的第 1~2 d, 其 pH 下降, 这是由于肌糖原无氧酵解产生了乳酸以及三磷酸腺苷分解产生磷酸等酸性物质, 降低了鸡胸肉的 pH^[32-33]。之后在微生物迅速繁殖和内源酶的作用下, 鸡胸肉样品的 pH 缓慢增加。鸡胸肉在贮藏期第 3~7 d, pH 均缓慢上升, 第 6 d 鸡胸肉的 pH 为 6.32±0.08。样品在贮藏后期 pH 缓慢增加主要是由于鸡肉中的蛋白质被分解成氨、胺类和其他碱性含氮化合物^[15]。

2.1.3 菌落总数变化

鸡肉的质量和新鲜度主要取决于参与腐败的微生物的数量^[34]。在冷藏初期, 某些变质微生物数量很少, 仅占天然微生物的小部分。然而, 随着冷藏时间的增加, 微生物迅速繁殖, 并产生各种代谢产物, 引起异味和质地变化, 最终导致感官排斥^[35]。鸡胸肉在冷藏期间(4℃)的 TVC 变化如表 2 所示。GB 16869—2005《鲜、冻禽产品》中规定, 可食性鸡胸肉的特 TVC 应≤6 lg CFU/g。鸡胸肉的初始 TVC 为(3.5±0.1) lg CFU/g, 表明鸡胸肉处于新鲜状态。随着贮

藏时间的增加, 鸡胸肉样品的 TVC 呈现急速上升的趋势。在贮藏的第 6 d, 冷藏鸡胸肉的特 TVC 值为(6.6±0.3) lg CFU/g, 超过了标准中所规定的可食用上限值, 这表明鸡胸肉已经腐败, 冷藏鸡胸肉的货架期为 5 d。

2.1.4 感官评分变化

鸡胸肉在冷藏条件下的感官评分变化如表 2 所示。分别从鸡肉体表色泽、表面情况、弹性和气味等方面对不同贮藏期下鸡胸肉进行感官评分, 随着贮藏时间的增加, 鸡肉的感官评分发生了显著的下降($P<0.05$)。初始时, 鸡肉颜色表现为粉色有光泽、按压后立即恢复, 且带有鸡肉固有的鸡腥味, 无其他异味。在贮藏第 6 d, 鸡肉表面呈现暗红色, 按压后缓慢恢复且略微发黏, 鸡肉腥味中略带异味, 表明此时的鸡肉已经发生腐败, 不可食用。

2.1.5 色泽变化

色泽是消费者判断肉类新鲜度的重要指标, 可以影响消费者的购买决定。鸡胸肉在冷藏贮藏期间的色泽(L^* 、 a^* 、 b^*)变化如表 3 所示。随着贮藏时间的增加, 鸡胸肉的特 L^* (亮度值)先增大后减小。冷藏过程中贮藏前期鸡胸肉的特 L^* 升高可能是由于鸡胸肉内部水分的渗出, 导致鸡胸肉表面对光的反射增加, 从而亮度增加^[36]。之后随着贮藏时间的增加, L^* 显著下降, 这可能与鸡胸肉中的肌红蛋白被氧化, 以及生化反应过程中产生的色素有关^[37]。鸡胸肉的特 a^* 随着贮藏时间的增加, 呈现先增加后减小的趋势。该结果与牛力等^[20]的研究结果类似。前期 a^* 的增加可能是由于保鲜盒中的少量氧气与鸡胸肉中的肌红蛋白结合产生鲜红色氧合肌红蛋白, 后期 a^* 的减少是由于氧合肌红蛋白转变成深褐色的高铁肌红蛋白^[38]。 b^* 在贮藏过程中整体呈现增加的趋势, b^* 增加主要是由于鸡胸肉表面的微生物在生长繁殖过程中产生大量硫化氢气体, 与氧合肌红蛋白反应产生硫化肌红蛋白, 导致鸡胸肉的特黄度增加^[39]。

表 2 鸡胸肉冷藏条件下的理化指标
Table 2 Physical and chemical indexes of chicken breast during refrigeration conditions

冷藏时间/d	TVB-N/(mg/100 g)	pH	TVC/(lg CFU/g)	感官评分
0	5.62±0.21 ^a	5.95±0.02 ^b	3.5±0.1 ^a	5.00±0.00 ^g
1	8.29±0.49 ^b	5.83±0.05 ^a	3.9±0.2 ^a	4.58±0.23 ^f
2	9.09±0.66 ^c	5.71±0.06 ^a	4.4±0.2 ^b	4.25±0.32 ^e
3	11.81±0.81 ^c	6.01±0.03 ^b	4.9±0.3 ^c	4.08±0.49 ^d
4	14.61±0.99 ^d	6.14±0.07 ^c	5.1±0.3 ^c	3.95±0.67 ^d
5	16.08±1.18 ^c	6.22±0.05 ^c	5.5±0.2 ^d	3.29±0.71 ^c
6	19.22±1.23 ^f	6.32±0.08 ^d	6.6±0.3 ^c	2.92±0.29 ^c
7	20.87±1.31 ^g	6.34±0.07 ^d	7.3±0.4 ^f	2.27±0.36 ^b
8	24.26±1.27 ^h	6.39±0.06 ^d	8.6±0.2 ^g	1.18±0.13 ^a

注: 同一列中不同字母表示差异显著($P<0.05$), 下同。

表 3 4℃贮藏下鸡胸肉的色泽变化
Table 3 Variations in color of chicken breast during refrigerated storage at 4℃

冷藏时间/d	色泽变化		
	L^*	a^*	b^*
0	49.01±0.74 ^a	0.12±0.02 ^a	8.01±0.10 ^a
1	51.54±0.58 ^a	0.25±0.04 ^a	8.97±0.14 ^a
2	53.71±0.56 ^b	0.37±0.06 ^b	9.85±0.46 ^a
3	56.13±0.75 ^b	0.53±0.18 ^c	10.84±0.24 ^b
4	49.24±0.35 ^c	0.62±0.31 ^c	11.27±0.17 ^b
5	48.78±0.99 ^c	0.93±0.24 ^d	11.98±0.36 ^b
6	47.23±0.26 ^c	0.97±0.28 ^d	12.94±0.71 ^c
7	47.08±0.86 ^c	0.91±0.15 ^d	12.22±0.28 ^c
8	47.98±0.76 ^c	0.85±0.23 ^d	12.83±0.41 ^c

2.2 鸡胸肉冷藏过程中新鲜度等级分析及评价模型搭建

2.2.1 基于主成分分析的冷藏鸡肉新鲜度分析

利用PCA对不同贮藏期内的冷藏鸡肉新鲜度相关的质量属性指标(TVB-N、pH、TVC、感官评分)进行了分析(图1)。由图1可知,第一主成分的方差贡献率为92.4%,第二主成分的方差贡献率为6.3%,两个主成分的方差累积贡献率共计为98.7%。因此,选择前两个主成分可以足够代替所有的变量。根据贮藏时间的不同,冷藏鸡肉样品可以被划分为3组:第0 d、第1 d和第2 d划分为一组;第3 d、第4 d和第5 d划分为一组;第6 d、第7 d和第8 d划分为一组。随着贮藏时间的增加样品的数据之间的差异性逐渐变大。根据GB 2707—2016和GB 16869—2005中规定,新鲜冷藏禽肉的TVB-N值上限为15 mg/100 g以及可食禽肉的TVC≤6 lg CFU/g。由于第6 d鸡肉的TVB-N值达到了不能食用的判定终点,因此6~8 d可划分为腐败组。根据冷藏鸡肉的质量属性指标和结合PCA,将冷藏鸡肉样本分为新鲜级(第0~2 d)、中度新鲜度(第3~5 d)和腐败级(第6~8 d)。

由于PCA在划分中度新鲜组和腐败组时,出现了中度新鲜组和腐败组相交的情况,因此,PCA在区分差异性相对较小的样品数据时存在一定的误判性,因此需要进一步借助其他模式识别方法来提升基于冷藏鸡肉新鲜度相关质量属性指标的新鲜度识别率。

2.2.2 基于层次聚类分析的冷藏鸡肉新鲜度分析

利用HCA方法,以贮藏时间为聚类对象,对不同贮藏时间下冷藏鸡肉的质量属性指标(TVB-N、pH、TVC、感官评分)进行分析,得到如图2的聚类分析结果。所有样品可被划分为3类,第0 d、第1 d和第2 d为第一类;第3 d、第4 d和第5 d为第二类;第6 d、第7 d和第8 d为第三类。90个样品中有5个样品分类错误,HCA的准确率为94.4%。同时,根据HCA和GB 2707—2016,冷

藏鸡肉的新鲜度可被分为新鲜级(0~2 d)、中度新鲜级(3~5 d)、腐败级(6~8 d)。当距离大于5时,所有样品可被分为可食用级(0~5 d)和腐败级(6~8 d),其中3个样品划分错误,HCA的准确率为96.7%。因此,通过HCA结果发现,鸡肉在4℃下可食用冷藏期为5 d,之后食用存在安全风险。

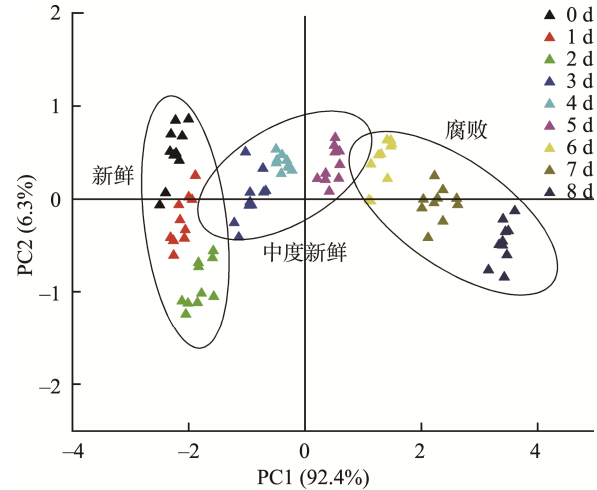


图1 冷藏鸡肉贮藏期间质量属性指标的PCA图
Fig.1 PCA diagram of quality attribute indexes of refrigerated chicken during storage

2.2.3 基于Fisher判别分析的冷藏鸡肉新鲜度分析

通过LDA对冷藏鸡肉新鲜度相关质量属性进行分析,质量属性指标的Wilk's Lambda均较小,说明质量属性指标之间存在明显的统计学差异($P<0.05$),表4为冷藏鸡肉质量属性指标的新鲜度典型判别函数系数(非标准化)。

通过LDA结果可知(图3),冷藏鸡肉的新鲜度可划分为3个等级:新鲜、中度新鲜和腐败。判别函数1和2的贡献率分别为98.65%和1.35%。从图3中可以发现,中度新鲜样本和腐败样本更接近,与新鲜样本距离更远,表明判别中度新鲜样品与腐败样品比判别新鲜样品更为困难。

结合判别分析结果,冷藏鸡肉在不同贮藏期内的新鲜度变化可通过(2)~(4)新鲜度判别模型来分析判别。

$F_{\text{新鲜}}=28.578T+842.902P+179.304C-284.347G-3592.804$ (2)

$F_{\text{中度新鲜}}=32.196T+887.53P+188.482C+301.888G-4017.427$ (3)

$F_{\text{腐败}}=35.388T+919.952P+200.877C+317.989G-4403.879$ (4)

其中,G为感官评分,C为TVC (lg CFU/g),P为pH,T为TVB-N值 (mg/100 g)。

利用判别函数判别冷藏鸡肉的新鲜度结果如表5。冷藏0、1和2 d的样品判别为新鲜,建模集分类率95.2%,预测集分类率为100.0%;冷藏3~5 d的样品判别为中度新鲜,建模集分类率95.0%,预测集分类率为90.0%;冷藏6~8 d

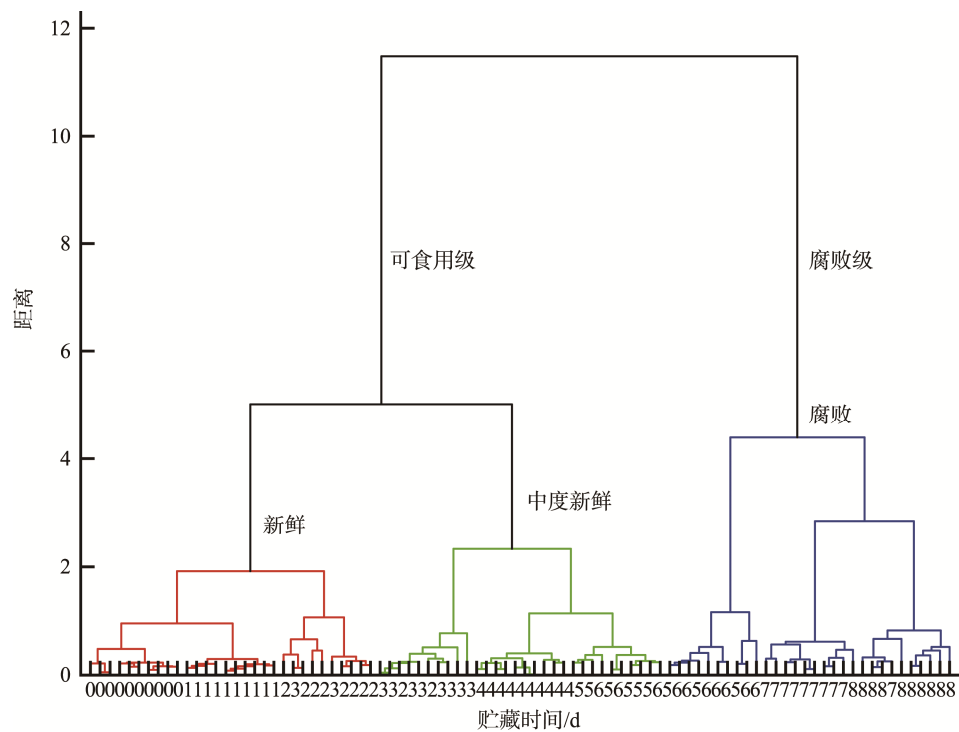


图2 冷藏鸡肉贮藏过程中质量属性指标的HCA图

Fig.2 HCA diagram of quality attribute index of refrigerated chicken during storage

的样品判别为腐败, 建模集分类率 94.7%, 预测集分类率为 90.9%。同时, 该判别分析模型对冷藏鸡肉不同新鲜度(新鲜、中度新鲜、腐败)分类时, 建模集分辨率为 95.0%, 预测集分类率为 93.6%。因此, 通过 LDA 搭建冷藏鸡肉新鲜度判别模型, 可实现对鸡肉新鲜度较为准确的判别减少食用安全风险。

变量	函数	
	1	2
TVB-N	0.618	-0.2672
pH	7.00	-6.413
TVC	1.949	1.249
感官评分	3.051	-1.015
常量	-73.286	39.882

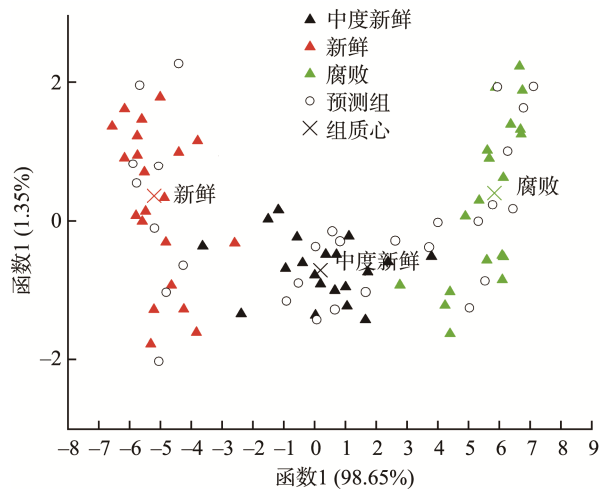


图3 冷藏鸡肉贮藏过程中质量属性指标的LDA图

Fig.3 LDA diagram of quality attribute indexes of refrigerated chicken during storage

表 5 判别函数分辨冷藏鸡肉的新鲜度

Table 5 Discriminant function to distinguish the freshness of refrigerated chicken

样品(4℃)	建模集					预测集				
	新鲜	中度新鲜	腐败	总计	分类率/%	新鲜	中度新鲜	腐败	总计	分类率/%
0~2 d	20	1	0	21	95.2	9	0	0	9	100.0
3~5 d	0	19	1	20	95.0	0	9	1	10	90.0
6~8 d	0	1	18	19	94.7	0	1	10	11	90.9
总计	20	21	19	60	95.0	9	10	11	30	93.6

3 讨论与结论

鸡胸肉在 4℃贮藏过程中,与新鲜度相关的质量指标(TVB-N、pH、TVC)和感官评分、色泽发生了不同程度的变化。TVB-N 值和 TVC 会随着贮藏时间的增加而变大,而 pH 由于在鸡胸肉贮藏前期产生乳酸和磷酸,因而会呈现先减小后增加的变化。采用 PCA、HCA 对鸡胸肉新鲜度质量相关指标进行了综合分析,发现 PCA 在分析鸡胸肉的中度新鲜和腐败两种新鲜度状态时存在误判情况,聚类分析可实现鸡胸肉新鲜度的较为准确的分类。通过 LDA,成功构建了基于新鲜度相关质量指标的鸡胸肉新鲜度判别模型。模型验证结果表明,该模型可实现冷藏条件下鸡胸肉贮藏过程中 93.6%新鲜程度的分类。

本研究通过理化指标结合多元统计方法对冷藏过程中的鸡胸肉新鲜度进行评价与分级,可为后续其他肉类新鲜度变化的研究方法提供借鉴,也可对相关智能包装材料与技术的开发与设计奠定基础。

参考文献

- [1] FU X, CHEN J. A review of hyperspectral imaging for chicken meat safety and quality evaluation: Application, hardware, and software [J]. Compr Rev Food Sci F, 2019, 18(2): 535–547.
- [2] SPYRELLI ED, OZCAN O, MOHAREB F, et al. Spoilage assessment of chicken breast fillets by means of fourier transform infrared spectroscopy and multispectral image analysis [J]. Curr Res Food Sci, 2021, 4: 121–131.
- [3] YIMENU SM, KOO J, KIM BS, et al. Freshness-based real-time shelf-life estimation of packaged chicken meat under dynamic storage conditions [J]. Poul Sci, 2019, 98(12): 6921–6930.
- [4] BAEK I, LEE H, CHO B, et al. Shortwave infrared hyperspectral imaging system coupled with multivariable method for TVB-N measurement in pork [J]. Food Control, 2021, 124: 107854.
- [5] LIU DF, ZHANG CF, PU YM, et al. Novel colorimetric films based on polyvinyl alcohol/sodium carboxymethyl cellulose doped with anthocyanins and betacyanins to monitor pork freshness [J]. Food Chem, 2023, 404: 134426.
- [6] LIU DF, CUI ZJ, SHANG M, et al. A colorimetric film based on polyvinyl alcohol/sodium carboxymethyl cellulose incorporated with red cabbage anthocyanin for monitoring pork freshness [J]. Food Packag Shelf Life, 2021, 28: 100641.
- [7] 关海宁, 冷思琦, 刘登勇, 等. 肉品新鲜度智能指示标签的形成分类与机制研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(5): 77–84.
GUAN HN, LENG SQ, LIU DY, et al. Research progress on the formation, classification and mechanism of meat freshness intelligent indicator label [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(5): 77–84.
- [8] WANG Y, ZHANG J, ZHANG L. An active and pH-responsive film developed by sodium carboxymethyl cellulose/polyvinyl alcohol doped with rose anthocyanin extracts [J]. Food Chem, 2022, 373: 131367.
- [9] ALAMDARI NG, FORGHANI S, SALMASI S, et al. Ixiolirion tataricum anthocyanins-loaded biocellulose label: Characterization and application for food freshness monitoring [J]. Int J Biol Macromol, 2022, 200: 87–98.
- [10] VASCONCELOS H, SARAIVA C, ALMEIDA JMMM. Evaluation of the spoilage of raw chicken breast fillets using Fourier transform infrared spectroscopy in tandem with chemometrics [J]. Food Bioprocess Technol, 2014, 7: 2330–2341.
- [11] BALAMATSIA CC, PATSIAS A, KONTOMINAS MG, et al. Possible role of volatile amines as quality-indicating metabolites in modified atmosphere-packaged chicken fillets: Correlation with microbiological and sensory attributes [J]. Food Chem, 2007, 104(4): 1622–1628.
- [12] NYCHAS GJE, SKANDAMIS PN, TASSOU CC, et al. Meat spoilage during distribution [J]. Meat Sci, 2008, 78(1-2): 77–89.
- [13] GUEVARA-FRANCO JA, ALONSO-CALLEJA C, CAPITA R. Aminopeptidase activity by spoilage bacteria and its relationship to microbial load and sensory attributes of poultry legs during aerobic cold storage [J]. J Food Protect, 2010, 73(2): 322–326.
- [14] 王铁龙, 许凌云, 杨冠山, 等. 智能感官分析技术在食品风味中的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(8): 37–43.
WANG TL, XU LY, YANG GS, et al. Progress in research on intelligent sensory analysis for studies on food flavor [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(8): 37–43.
- [15] KANATT SR. Development of active/intelligent food packaging film containing *Amaranthus* leaf extract for shelf life extension of chicken/fish during chilled storage [J]. Food Packag Shelf, 2020, 24: 100506.
- [16] HASHIM SBH, TAHIR HE, LIU L, et al. Intelligent colorimetric pH sensing packaging films based on sugarcane wax/agar integrated with butterfly pea flower extract for optical tracking of shrimp freshness [J]. Food Chem, 2022, 373: 131514.
- [17] 胡云峰, 王雅迪, 唐裕轩. 猪肉糜在贮藏过程中的变化规律及新鲜度快速测定方法的研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(15): 178–182.
HU YF, WANG YD, TANG YX. Research on the change law of pork chyle during storage and the method for rapid determination of freshness [J]. Food Res Dev, 2018, 39(15): 178–182.
- [18] 陈慧芝. 基于智能包装标签的典型生鲜配菜新鲜度无损检测的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2019.
CHEN HZ. Development of intelligent packaging labels for non-destructively monitoring freshness of typical prepared fresh foods [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2019.
- [19] 王新新. 鸡胸肉冷藏、冰温及微冻贮藏品质变化的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
WANG XX. Quality change of chicken breast meat during chilled, ice temperature and superchilling storage [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019.
- [20] 牛力, 陈景宜, 黄明, 等. 不同冻藏温度和时间对鸡胸肉食用品质的影响[J]. 南京农业大学学报, 2012, 35(4): 115–120.
NIU L, CHEN JY, HUANG M, et al. Effect of different frozen storage temperature and time on the eating quality of chicken breast meat [J]. J Nanjing Agric Univ, 2012, 35(4): 115–120.
- [21] REICHEL M, CARLE R, SRUAMSIRI P, et al. Influence of harvest maturity on quality and shelf-life of litchi fruit (*Litchi chinensis* Sonn) [J]. Postharvest Biol Technol, 2010, 57(3): 162–175.
- [22] KIENZLE S, SRUAMSIRI P, CARLE R, et al. Harvest maturity specification for mango fruit (*Mangifera indica* L. 'Chok Anan') in regard to long supply chains [J]. Postharvest Biol Technol, 2011, 61(1): 41–55.

- [23] PAPANAGIOTOU P, TZIMITRA-KALOGIANNI I, MELFOU K. Consumers' expected quality and intention to purchase high quality pork meat [J]. *Meat Sci*, 2013, 93(3): 449–454.
- [24] SILVA VM, MINIM VPR, FERREIRA MAM, *et al*. Study of the perception of consumers in relation to different ice cream concepts [J]. *Food Qual Prefer*, 2014, 36: 161–168.
- [25] 刘梅红. 基于低场核磁共振技术的鲜牛奶掺假及新鲜度快速检测方法研究[D]. 银川: 宁夏大学, 2016.
- LIU MH. Study on rapid detection method of adulterated milk and freshness of milk based on low field nuclear magnetic resonance technology [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2016.
- [26] JEON H, LEE SC, CHO YJ, *et al*. A triple-isotope approach for discriminating the geographic origin of Asian sesame oils [J]. *Food Chem*, 2015, 167: 363–369.
- [27] KIM YY, PARK SJ, KIM JS, *et al*. Development of freshness indicator for monitoring chicken breast quality and freshness during storage [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2022, 31(3): 377–385.
- [28] MELO AAM, GERALDINE RM, SILVEIRA MFA, *et al*. Microbiological quality and other characteristics of refrigerated chicken meat in contact with cellulose acetate-based film incorporated with rosemary essential oil [J]. *Braz J Microbiol*, 2012, 43: 1419–1427.
- [29] KIM D, LEE S, LEE K, *et al*. Development of a pH indicator composed of high moisture-absorbing materials for real-time monitoring of chicken breast freshness [J]. *Food Sci Biotechnol*, 2017, 26: 37–42.
- [30] KUSWANDI B, OKTAVIANA R, ABDULLAH A, *et al*. A novel on-package sticker sensor based on methyl red for real-time monitoring of broiler chicken cut freshness [J]. *Packag Technol Sci*, 2014, 27(1): 69–81.
- [31] MIR NA, RAFIQ A, KUMAR F, *et al*. Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: A review [J]. *J Food Sci Technol Mys*, 2017, 54: 2997–3009.
- [32] PEREIRA M, MALFEITO-FERREIRA M. A simple method to evaluate the shelf life of refrigerated rabbit meat [J]. *Food control*, 2015, 49: 70–74.
- [33] KOZIOŁ K, MAJ D, BIENIEK J. Changes in the color and pH of rabbit meat in the aging process [J]. *Med Weter*, 2015, 71(2): 104–108.
- [34] BALAMATSIA CC, PATSIAS A, KONTOMINAS MG, *et al*. Possible role of volatile amines as quality-indicating metabolites in modified atmosphere-packaged chicken fillets: Correlation with microbiological and sensory attributes [J]. *Food Chem*, 2007, 104(4): 1622–1628.
- [35] RUKCHON C, NOPWINYUWONG A, TREVANICH S, *et al*. Development of a food spoilage indicator for monitoring freshness of skinless chicken breast [J]. *Talanta*, 2014, 130: 547–554.
- [36] 李建文, 路锋, 张于彪, 等. 冻肉在冷藏过程中常见的异常现象及卫生处理[J]. *中国动物检疫*, 2003, (1): 26.
- LI JW, LU F, ZHANG YB, *et al*. Common abnormal phenomena and hygienic treatment of frozen meat in the process of refrigeration [J]. *China Anim Health Inspect*, 2003, (1): 26.
- [37] 孙皓, 徐幸莲, 王鹏. 鸡肉类PSE肉与正常肉流变、质构特性的比较[J]. *食品与发酵工业*, 2013, 39(5): 194–199.
- SUN H, XU XL, WANG P. Comparisons of rheological properties and textural characteristics between PSE-like and normal chicken meat [J]. *Food Ferment Ind*, 2013, 39(5): 194–199.
- [38] 王琳可. 火候对卤煮鸡腿质构、色泽的影响研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2015.
- WANG LK. Effect of cooking degree on texture profile analysis and colour of stewed chicken legs [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2015.
- [39] HERNÁNDEZ MD, LÓPEZ MB, ÁLVAREZ A, *et al*. Sensory, physical, chemical and microbiological changes in aquacultured meagre (*Argyrosomus regius*) fillets during ice storage [J]. *Food Chem*, 2009, 114(1): 237–245.

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

作者简介



刘丹飞, 博士研究生, 主要研究方向为智能包装材料的研究和应用、食品新鲜度检测技术、天然生物多糖的开发与应用。
E-mail: 15200405865@163.com



张昌凡, 教授, 主要研究方向为智能包装技术。
E-mail: zcf@hut.edu.cn



钟云飞, 教授, 主要研究方向为包装智能设计和包装防伪技术, 先进印刷包装材料与技术。
E-mail: yfzhong@hut.edu.cn