

糊辣牛肉在不同温度条件下的贮藏特性及其货架期预测

丁捷¹, 胡欣洁², 卢雪松¹, 何江红¹, 卢一¹, 秦文², 付婷婷², 朱金艳³, 易宇文¹

(1. 四川旅游学院食品学院, 四川成都 610100) (2. 四川农业大学食品学院, 四川雅安 625014)

(3. 庄河市食品检测监测中心, 辽宁大连 116400)

摘要:以糊辣牛肉为实验材料, 研究其不同贮藏温度条件下的贮藏特性和贮藏期间各品质指标的 Pearson 相关系数, 建立了货架期预测模型。结果表明: 贮藏期间产品 pH 值先降后升, 伴随着菌落总数、TVB-N 值和 TBA 升高, 感官品质和硬度下降; 贮藏温度越低, 产品品质保存越好, 货架期越长; 在 5 °C、15 °C、25 °C、37 °C 和 45 °C 货架期分别为 16.0 d、12.5 d、8.5 d、3.0 d 和 1.5 d; 不同温度条件下菌落总数与感官品质、pH、TVB-N、TBA 和硬度均呈极显著相关 ($p < 0.01$); 依据贮藏特性的动态变化, 开发出多元回归模型、温度与货架期关系回归模型和 t_{TVB-N} 、 t_{TVB-N} 和 $t_{Hardness}$ 动力学货架期模型。通过模型验证发现, 温度与货架期关系模型能快速有效预测 5 °C~25 °C 范围内方便菜肴糊辣牛肉货架期, 相对误差范围为 0.29%~2.36%; 5 °C~37 °C 范围内多元回归模型预测效果更佳, 相对误差范围为 1.07%~7.89%; t_{TVB-N} 、 t_{TVB-N} 和 $t_{Hardness}$ 动力学货架期模型预测效果较差。

关键词: 温度; 糊辣牛肉; 贮藏特性; 货架期

文章编号: 1673-9078(2017)3-122-132

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.3.020

Storage Characteristics and Shelf-life Prediction of Spicy Beef under Different Storage Temperatures

DING Jie¹, HU Xin-jie², LU Xue-song¹, HE Jiang-hong¹, LU Yi¹, QIN Wen², FU Ting-ting², ZHU Jin-yan³,
YI Yu-wen¹

(1.College of Food Sichuan Tourism University, Chengdu 610100, China) (2.College of Food Science Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China) (3.Food Inspection Monitoring Center of Zhuang-he, Dalian 116400, China)

Abstract: Using different temperatures for storage of spicy beef, quality indicators and Pearson's correlation coefficients of quality parameters during storage were evaluated, and a shelf-life prediction model was established. The results revealed that during storage, pH increased after an initial decrease, the total bacterial count, the total volatile base nitrogen (TVB-N) value, and thiobarbituric acid (TBA) value increased, whereas the sensory quality and hardness of spicy beef decreased. Lower storage temperature resulted in better product quality and longer shelf life. The shelf-life values of spicy beef stored at 5 °C, 15 °C, 25 °C, 37 °C, and 45 °C were 16.0, 12.5, 8.5, 3.0, and 1.5 days, respectively. The total bacterial count showed a significant correlation with sensory quality, pH, TVB-N, TBA, and hardness ($p < 0.01$). Multiple regression model, the regression model for the correlation between temperature and shelf life, and kinetic shelf life models (t_{TVB-N} , t_{TVB-N} , and $t_{Hardness}$) were developed based on dynamic changes in product characteristics during storage. Validation of the models revealed that the regression model for the correlation between temperature and shelf life rapidly and accurately predicted the shelf life of spicy beef in a temperature range of 5 °C~25 °C, with relative error ranging between 0.29% and 2.36%. Good prediction results were achieved using the multiple regression models within the temperature range of 5 °C to 37 °C, with relative error ranging between 1.07% and 7.89%. The kinetic shelf-life models (t_{TVB-N} , t_{TVB-N} , and $t_{Hardness}$) exhibited poor prediction results.

Key words: temperature; spicy beef; storage characteristics; shelf life

收稿日期: 2016-03-17

基金项目: 四川省教育厅重大培育项目 (14CZ0033); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室基金重点项目 (13-PR04); 四川省大学生创新创业训练计划项目 (201511552025); 肉类加工四川省重点实验室项目 (13-R02)

作者简介: 丁捷 (1985-), 女, 讲师, 研究方向: 传统食品加工与贮藏

通讯作者: 卢雪松 (1981-), 男, 讲师, 研究方向: 传统食品加工与贮藏

随着人们生活节奏的加快,对传统菜肴工业化产品的需求越来越大。真空包装方便菜肴产品因食用方便、风味独特以及号称无防腐剂添加等宣传,深受消费者喜爱,成为淘宝和微商等方便菜肴销售商铺的明星产品,也成为行业研发热点。巨大的市场需求下,该类型产品流通量日益变大,流通距离不断延长。而方便菜肴原辅料复杂,含有大量的蛋白质和脂肪在加工和贮藏过程中极易受到微生物污染导致腐败变质。因此能准确预测方便菜肴产品贮藏过程中品质变化及货架期,对方便菜肴产品开发、工艺参数优化以及安全性评价都有积极的实际意义。目前国外已有学者对不同生鲜食品和加工食品的品质变化进行相关研究^[1-6],国内学者在川味发酵香肠^[7]、泡椒凤爪^[8]、酱卤鸡肉^[9]、真空包装板栗^[10]、齐口裂腹鱼^[11]和养殖大黄花^[12-14]等方面也进行了大量食品货架期预测研究。相比之下,针对方便菜肴,尤其是传统菜肴工业化产品在不同温度条件下贮藏过程中品质变化及货架期预测的研究却鲜有报道。

糊辣牛肉是在传统川菜糊辣系列经典菜肴宫保鸡丁基础上研发的新型真空包装即食方便菜肴产品,其特点是成品色泽红棕,糊辣鲜香,略带甜酸,常使用大量辣椒、花椒、蒜、姜、大葱和花生作为辅料。本课题通过对糊辣牛肉在不同温度条件下贮藏过程中感官评价、菌落总数、pH值、T-VBN值、TBA值和硬度进行系统研究,确定贮藏期间各品质指标间的相关性,构建不同货架期预测模型,对其性能和适用性进行评价和验证,以期为该类型方便菜肴产品防腐保鲜技术研发、产品质量安全控制和相关部门监管标准的制定,奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

冷冻牛肉、干辣椒、花椒、姜、蒜、葱、食醋、料酒、酱油、蔗糖、食盐、淀粉、味精、花生和金龙鱼色拉油购于成都市龙泉驿区百伦新宸百货有限公司。氢氧化钠、浓盐酸、硼酸、甲基红、溴甲酚绿、硫代巴比妥酸、氯仿、胰蛋白胨、酵母浸膏、葡萄糖琼脂和磷酸二氢钾等所用化学试剂均为分析纯,购于成都科龙化工。

1.2 仪器与设备

PB-20型酸度计:上海博取仪器有限公司;SW-CJ-1FD型超净工作台:苏净集团苏州泰安空气技术有限公司;SHP-160型智能生化培养箱:上海三发

科学仪器有限公司;G154DW型立式自动压力蒸汽灭菌器:志微仪器有限公司;DHG-9140型电热恒温鼓风干燥箱:上海三发科学仪器有限公司;722S型分光光度计:无锡天牧仪器科技有限公司;SHA-C型恒温振荡器:国华有限公司;BCD-196TMPI电冰箱:青岛海尔股份有限公司;YP-N型电子天平:上海精密仪器仪表有限公司;TMS-Pro物性仪:美国F.T.C公司;DZQ-400型真空包装机:上海阿法帕真空设备有限公司;ZH-TCS型可倾式电炒锅:广州市花都区新奥海西厨设备厂;HT-867型红外线测温计:广州市宏诚集业电子科技有限公司;FY-50L反压高温蒸煮仪:江苏凯瑞科技。

1.3 试验方法

1.3.1 糊辣牛肉加工工艺

方便菜肴糊辣牛肉配方为:牛肉67.0%、去皮花生仁6.7%、干辣椒壳5.0%、红花椒1.6%、青花椒0.2%、味精0.7%、白糖3%、食盐1.7%、食醋1.0%、料酒3.4%、酱油1.3%、淀粉1.0%、葱段2.0%、姜片3.4%、蒜泥1.7%以及八角0.3%。加工工艺流程如下所示:

原料预处理(牛肉颗粒:2cm×2cm×2cm)→焯水→油炸(165℃,3min)→调味→翻炒(165℃,5min)→趁热称量分装(四层PET/AL/PA/CPE铝箔袋,分装为100g/袋)→真空包装(0.08MPa,60s)→杀菌(121±1℃,恒温15min,恒温压力0.2±0.02MPa,反压压力0.2±0.02MPa)→成品。

1.3.2 实验设计

将成品分成5组,每组60袋样品,分别置于5℃冰箱冷藏室和15℃、25℃、37℃和45℃(温度波动范围±0.5℃),相对湿度为75%(波动范围为±5%RH)的生化培养箱中贮藏,分别每3d、2.5d、2d、1d和0.5d取样进行各项指标的测定。每组3次平行,测定结果取平均值。

1.3.3 检测指标

1.3.3.1 感官评分

组织6人具有中国烹饪名师称号或副高及以上烹饪科学教授职称的专家型感官评分小组,对糊辣牛肉感官质量评定指标主要包括外观、气味及滋味、组织状态评分,综合评分为各项评分之和,共计30分。当综合评分小于15分时,则认为产品感官已达到消费者无法接受的程度,产品剩余货架期为零。根据GB/T 2210-2008《肉及肉制品感官评定规范》及相关参考文献^[15-17],制定感官评价标准,见表1。

1.3.3.2 pH值

按照GB 9695.5-2008测定。

1.3.3.3 挥发性硝基氮(TVB-N值)

按照 GB/T 5009.44-2003 中半微量蒸馏法测定。

按 GB 4789.2-2010 测定。

1.3.3.4 菌落总数

表 1 感官评价标准表

Table 1 Sensory evaluation standards

各项评分	外观	气味及滋味	组织状态
9~10 分 (优)	牛肉粒: 深棕色, 色泽均匀; 外观清爽, 完整	浓郁的糊辣香味、无不良气味	组织紧实、外酥内嫩, 无汁液渗出
6~8 分 (较好)	牛肉粒: 黄棕色, 色泽较均匀; 外观清爽、完整	糊辣香味、无不良气味	组织较为紧实、外酥内嫩, 无汁液渗出
4~5 分 (较差)	牛肉粒: 浅棕色, 色泽不均; 肉质少许变色	糊辣味较为不明显、无不良气味	组织较为松软、外部肉丝松散现象 明显, 有些许汁液渗出
1~3 分 (劣)	牛肉粒: 浅棕色且泛白。 色泽不均; 胀袋	酸败或腐败气味明显	组织松软、外部肉丝松散明显, 有大量汁液渗出

1.3.3.5 硫代巴比妥酸 (TBA 值) 的测定

参考马丽珍等^[18]方法测定。取 5.00 g 搅碎肉样, 于研钵中加少量石英砂研细, 加入 15 mL、7.5%三氯乙酸 (含 0.1% EDTA), 振摇 30 min, 用双层滤纸过滤, 取 5 mL 上清加入 5 mL、0.02 mol/L 的 TBA 溶液, 于 90 °C 水浴中保温 40 min, 取出冷却 1 h, 加入 5 mL 氯仿摇匀, 静置分层, 取上清分别在 532 nm 和 600 nm 处测吸光度, 以蒸馏水为空白样。记录数据并用公式计算。TBA 值/(mg MAD/kg)=4.65×(A₅₃₂-A₆₀₀)

1.3.3.6 硬度

采用美国 F.T.C 公司 TMS-Pro 物性仪, 选用单刀复合式剪切探头, 选择肉制品剪切测试程序, 测试速度 60 mm/min, 形变量 60% 的条件下, 测试样品的硬度。数据均为 6 次平行试验的平均值。

1.4 数据处理

使用数据采用 SPSS 21.0 进行相关性分析和多元逐步回归分析, 用邓肯分析进行水平间的分析, $p < 0.01$ 时为极显著差异, $p < 0.05$ 时为显著性差异。

2 结果与分析

2.1 不同贮藏温度下糊辣牛肉感官评价变化

方便菜肴糊辣牛肉的感官评价是其货架期品质变化的一个综合性评估, 同时也是决定消费者消费欲望和再次购买意向的决定因素。如图 1 所示, 新鲜糊辣牛肉感官综合评分为 28 分, 随着贮藏温度的升高和贮藏时间延长, 感官综合评分呈下降趋势, 贮藏温度越高, 牛肉感官品质劣变速度越快。5 °C 贮藏至 15 d 感官品质仍为较好水平, 牛肉粒外观清爽完整, 外酥内嫩, 但其糊辣风味较新鲜样品明显变淡, 贮存至 21 d 达到较差水平。15 °C 条件下的样品在 10 d 感官品质下

降至较差水平, 产品第 12 d 出现涨袋。25 °C 贮藏第 8 d 时, 样品表面变粘, 风味色泽变差, 贮藏至 17.5 d 时出现涨袋。贮藏于 37 °C 条件下的样品在第 3 d 感官品质已经达到较差水平, 第 5 d 出现涨袋, 产品感官品质劣变至消费者无法接受程度, 失去商业价值。45 °C 贮藏第 2 d 时, 牛肉色泽变暗, 出现较明显油脂哈败气味, 第 3 d 时总体品质变得不可接受。

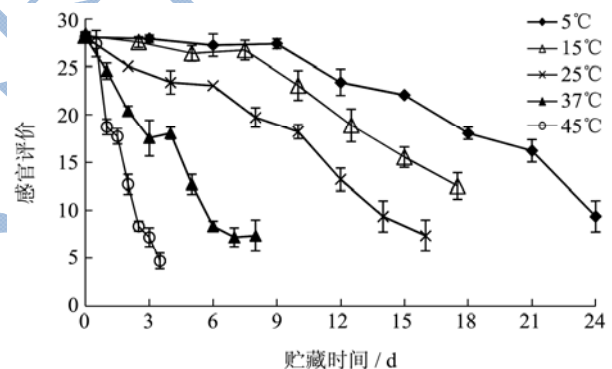


图 1 不同贮藏温度条件下真空包装糊辣牛肉感官评价变化
Fig.1 Changes in sensory evaluation results of vacuum-packed spicy beef during storage under different temperatures

2.2 不同贮藏温度下糊辣牛肉菌落总数变化

由图 2 可知, 经过热加工、真空包装和杀菌处理后, 产品初始菌落总数为 0; 各贮藏温度条件下的菌落总数显著变化 ($p < 0.05$); 贮藏温度越高, 菌落总数增速越快。贮藏于 45 °C 贮藏至 2.5 d 时菌落总数已超过国家卫生标准, 达到 6.96×10^5 CFU/g。37 °C 下牛肉贮藏至 3 d 时菌落总数已超过国家卫生标准, 达到 8.40×10^4 CFU/g; 第 6 d 达到最大值 5.72×10^9 CFU/g 后缓慢下降, 生长水平维持在 $10^8 \sim 10^9$ CFU/g。25 °C 贮藏至 8 d 时仍在国标规定范围内, 10 d 时菌落总数超过国家标准; 14 d 时达到生长最高水平, 约 10^7 CFU/g。15 °C 和 5 °C 贮藏温度下糊辣牛肉的菌落总数

增长速率相对缓慢,其中 15 °C 贮藏至 12.5 d 时超过国家标准; 5 °C 贮藏前期 (0~9 d) 菌落总数增长缓慢,至 12 d 时快速上升为 5.04×10^3 CFU/g, 较第 9 d 增值 98.70 倍; 第 18 d 超过国标, 而贮藏后期 (21 d~24 d 时) 生长水平维持在 10^5 CFU/g。由此可知温度对菌落总数影响显著 ($p < 0.05$); 贮藏低温和常温条件下的产品, 其菌落总数增长较缓慢。

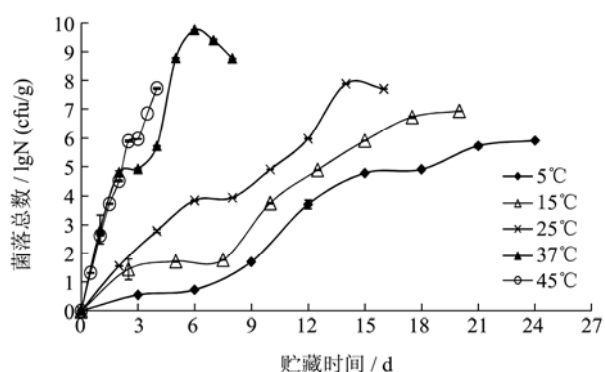


图2 不同贮藏温度条件下真空包装糊辣牛肉菌落总数变化

Fig.2 Changes in the aerobic plate count of vacuum-packed spicy beef during storage under different temperatures

2.3 不同贮藏温度下糊辣牛肉 pH 值变化

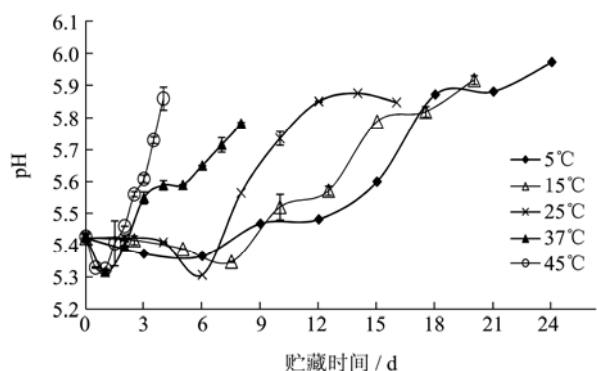


图3 不同贮藏温度条件下真空包装糊辣牛肉 pH 变化

Fig.3 Changes in pH of vacuum-packed spicy beef during storage under different temperatures

新鲜肉的 pH 值范围一般在 pH 5.4~5.8, 肉制品在较低 pH 值的情况下能保持较好的肉品品质^[25]。从图 3 可以发现, 各贮藏温度条件下糊辣牛肉 pH 值呈先下降再上升趋势, 且贮藏温度越高变化越显著 ($p < 0.05$)。这是由于贮藏初期, 微生物快速繁殖, 产品原辅料中大量糖类物质被分解, 产生大量有机酸, 且真空包装适合乳酸菌等厌氧菌生长发酵产酸, 导致 pH 值快速下降; 在贮藏中后期, 糖类物质被消耗殆尽, 微生物产酸能力下降, 微生物代谢导致蛋白质被分解成大量的低分子碱性含氮物质, 随着贮藏时间的延长, pH 逐渐上升。这与王晓霞和董洋^[19]等其他真空包装肉制品贮藏期间 pH 值变化结论相符合。

由于香辛调味料和加工工艺共同作用, 糊辣牛肉的初始 pH 值相对新鲜牛肉 pH 值较低, 维持在 pH (5.42±0.1) 范围内, 贮藏期间 pH 变化波动处于 5.30~6.00 范围内, 波动较小。高温贮藏 (45 °C 和 37 °C) 和常温贮藏 (25 °C 和 15 °C) 贮藏时样品 pH 值变化较低温贮藏 (5 °C) 明显。这主要是由于较高的温度除了促进微生物生长繁殖外, 还会加速脂肪的水解, 产生过多的游离脂肪酸。5 °C pH 值的最低点在第 6 d 出现, 但贮藏至第 15 d 时, pH 值仍维持在 5.60 左右。由此可确定, 贮藏温度对糊辣牛肉 pH 值有较大影响, 低温可以抑制样品中微生物生长代谢和脂肪分解, 有效延长产品货架期。

2.4 不同贮藏温度下糊辣牛肉 TVB-N 值变化

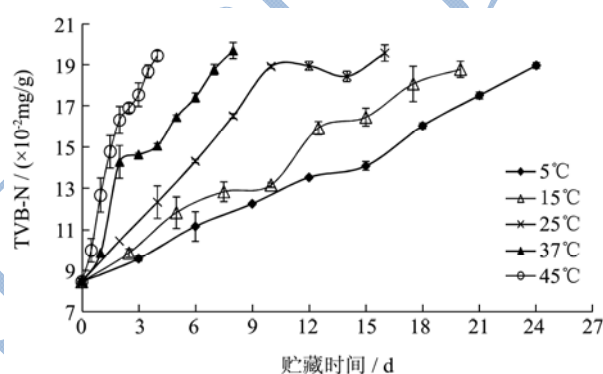


图4 不同贮藏温度条件下真空包装糊辣牛肉 TVB-N 变化

Fig.4 Changes in TVB-N of vacuum-packed spicy beef during storage under different temperatures

总挥发性盐基氮 (TVB-N) 主要包括氨类、二甲胺和三甲胺等, 是肉与肉制品由于自身酶或者微生物分解胞外酶作用而产生的氨以及胺类碱性含氮物质, 在许多真空包装肉制品中 TVB-N 水平与感官品质之间有较高相关性, 是衡量肉类制品新鲜程度的重要标志之一^[20-22]。糊辣牛肉经过热加工和杀菌处理后, 本身酶已经失活, 氨以及胺类碱性含氮物质主要由残留的微生物作用产生。由图 4 可知, 随着贮藏期的延长, 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; 各处理组间 TVB-N 值差异极显著 ($p < 0.01$)。45 °C 贮藏第 2 d 时, TVB-N 值从 0.0845 mg/g 增加到 0.1631 mg/g。37 °C 贮藏第 5 d 时 TVB-N 值已达到 0.1505 mg/g, 变化幅度相对初始值增长 78.06%。25 °C、15 °C 和 5 °C 贮藏的样品分别第 8 d、12.5 d、18 d 超过 0.15 mg/g。这主要是由于高温条件下, 微生物大量繁殖, 分解蛋白质的细菌占据优势地位, 蛋白质被分解为氨以及胺类碱性含氮物质, 贮藏后期大量代谢产物积累导致 TVB-N 值显著上升, 达到严重腐败的程度。而在常温和低温条件下, 分解蛋

白质能力较强的细菌生长受到抑制;尤其低温冷藏时,真空包装中优势菌种以兼性厌氧菌乳酸菌为主,其分解蛋白质能力较弱,因此产品 TVB-N 值变化相对较平缓,即使超过国家限量标准,仍未出现较明显的腐败迹象。

2.5 不同贮藏温度下糊辣牛肉 TBA 值变化

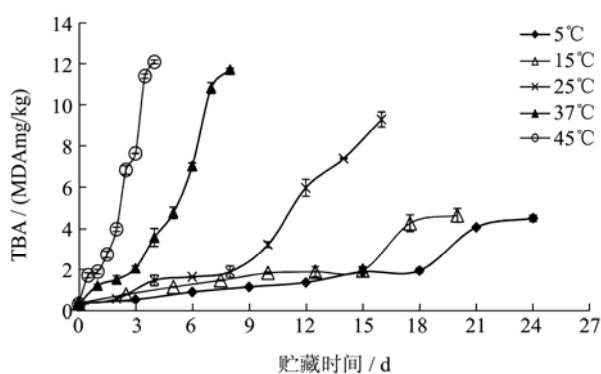


图5 不同贮藏温度条件下真空包装糊辣牛肉 TBA 值变化

Fig.5 Changes in TBA of vacuum-packed spicy beef during storage under different temperatures

TBA 是评价肉类脂肪氧化酸败程度的重要指标,是肉制品贮藏期间质量好坏的评价标准之一,TBA 值越大代表脂肪氧化程度越高,产品异味越大,品质越差。研究认为,当 TBA>0.5 mg MAD/kg 时脂肪氧化开始进行,当 TBA>3.0 mg MAD/kg,可判定肉制品已腐败变质^[23]。由图 5 可知,随着贮藏时间延长,TBA 值呈上升趋势;贮藏温度越高,产品的脂肪氧化酸败速度越快。

45 °C 贮藏至 0.5 d 时,TBA 值从 0.26 MAD/kg 即增加到 1.66 MAD/kg,贮藏至第 4 d 达到 12.07 MAD/kg。37 °C 处理组第 4 d 即达到 3.52 MAD/kg;而 25 °C、15 °C 和 5 °C 处理组分别要在 10 d、17.5 d 和 21 d 时,TBA 值才超过 3.0 mg MAD/kg。同时,从图 4 和 5 对比可以发现,常温和低温贮藏时,当 TVB-N 值达到 0.15 mg/g 时,TBA 值还未达到 3.0 mg MAD/kg,而高温贮藏时,各处理组 TVB-N 值和 TBA 值超过国家限制标准的速度较一致。这主要是由于高温不但有利于微生物生长繁殖,而且极大提高脂肪酶活性,加速脂肪分解,积累游离脂肪酸,加速油脂氧化酸败。

2.6 不同贮藏温度下糊辣牛肉硬度变化

糊辣牛肉的硬度直接反映了产品的口感,是影响

消费者再次购买的重要因素,是评价产品品质好坏的重要指标。在糊辣牛肉贮藏过程中,贮藏温度对硬度的影响如图 6 所示。在贮藏期间,牛肉随着贮藏时间的延长其硬度不断下降;贮藏温度越高,硬度下降速度越快。出现这种情况可能是由于贮藏过程中微生物生长繁殖导致牛肉的肌肉组织、细胞结构以及蛋白质立体结构逐渐被破坏,产品硬度不断下降。

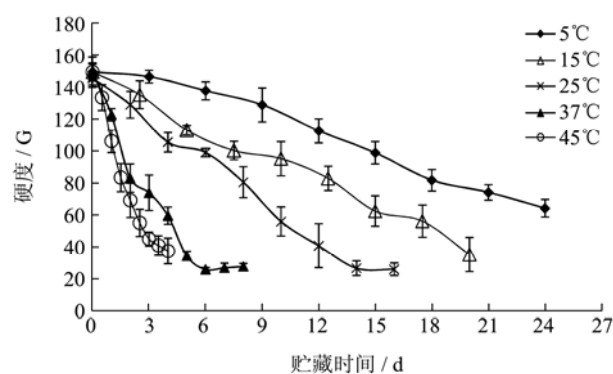


图6 不同贮藏温度条件下真空包装糊辣牛肉硬度值变化

Fig.6 Changes in hardness of vacuum-packed spicy beef during storage under different temperatures

2.7 不同贮藏温度下糊辣牛肉各品质指标相关性分析

如表 2 所示,在不同贮藏温度条件下,方便菜肴糊辣牛肉各项指标间的相关情况相似。贮藏时间与菌落总数、pH、TVB-N 值和 TBA 呈极显著正相关 ($p<0.01$),随着时间延长,样品的菌落总数、pH、TVB-N 值和 TBA 显著升高;贮藏时间与感官评价和硬度呈极显著负相关 ($p<0.01$),说明随着贮藏时间延长,样品的感官品质和硬度显著下降。菌落总数与 pH、TVB-N 值和 TBA 呈极显著正相关 ($p<0.01$),与感官评价和硬度极显著负相关 ($p<0.01$),说明菌落总数与各个贮藏品质指标的变化有很强的相关性。pH 与感官评价和硬度呈极显著负相关 ($p<0.01$),与 TVB-N 值和 TBA 呈极显著正相关 ($p<0.01$)。感官评价与 TVB-N 值和 TBA 呈极显著负相关 ($p<0.01$),与硬度呈极显著正相关 ($p<0.01$)。TVB-N 值与 TBA 呈极显著正相关 ($p<0.01$),与硬度呈极显著负相关 ($p<0.01$)。TBA 与硬度呈极显著负相关 ($p<0.01$)。综上所述,各个指标之间的相关性显著,为了更好判断糊辣牛肉的货架期,需综合考虑各贮藏品质指标对产品品质劣变程度的影响。

表 2 不同贮藏温度下糊辣牛肉货架期各品质指标间的 Pearson 相关性分析

Table 2 Pearson correlation analysis of various indicators of vacuum-packed spicy beef under different temperatures

贮藏温度/℃	贮藏天数	感官评价	菌落总数	pH	TVBN	TABRS	硬度	
5	贮藏天数	1	-0.937**	0.975**	0.926**	0.997**	0.926**	-0.991**
	感官评价		1	-0.898**	-0.955**	-0.949**	-0.947**	0.954**
	菌落总数			1	0.895**	0.958**	0.871**	-0.979**
	pH				1	0.933**	0.905**	-0.959**
	TVBN					1	0.940**	-0.987**
	TAB						1	-0.921**
	硬度							1
15	贮藏天数	1	-0.961**	0.983**	0.906**	0.992**	0.919**	-0.993**
	感官评价		1	-0.961**	-0.976**	-0.947**	-0.931**	0.946**
	菌落总数			1	0.931**	0.975**	0.887**	-0.963**
	pH				1	0.879**	0.873**	-0.884**
	TVBN					1	0.905**	-0.988**
	TAB						1	-0.907**
	硬度							1
25	贮藏天数	1	-0.982**	0.985**	0.887**	0.955**	0.945**	-0.991**
	感官评价		1	-0.972**	-0.911**	-0.889**	-0.981**	0.968**
	菌落总数			1	0.843**	0.929**	0.932**	-0.982**
	pH				1	0.838**	0.886**	-0.905**
	TVBN					1	0.815**	-0.967**
	TAB						1	-0.920**
	硬度							1
37	贮藏天数	1	-0.980**	0.934**	0.945**	0.964**	0.955**	-0.942**
	感官评价		1	-0.972**	-0.904**	-0.970**	-0.916**	0.966**
	菌落总数			1	0.814**	0.947**	0.828**	-0.985**
	pH				1	0.895**	0.907**	-0.855**
	TVBN					1	0.877**	-0.974**
	TAB						1	-0.815**
	硬度							1
45	贮藏天数	1	-0.976**	0.989**	0.910**	0.971**	0.971**	-0.967**
	感官评价		1	-0.987**	-0.840**	-0.985**	-0.919**	0.988**
	菌落总数			1	0.855**	0.990**	0.939**	-0.987**
	pH				1	0.807**	0.956**	-0.795*
	TVBN					1	0.896**	-0.996**
	TAB						1	-0.889**
	硬度							1

注: ** $p < 0.01$ 。

2.8 糊辣牛肉货架期预测模型的构建

2.8.1 糊辣牛肉货架期多元回归预测模型的建立

通过多元逐步回归分析, 筛选出显著影响糊辣牛肉货架期的指标, 得到不同贮藏温度条件下产品的回

归方程。经过残差修正后获得各温度条件下筛选的指标及回归方程(表 3), 可以看出, 在 5℃ 时, 显著影响货架期的主要因素为 TVB-N 值和菌落总数; 15℃ 时, 显著影响货架期的主要因素为硬度和菌落总数; 在 25℃ 时, 显著影响货架期的主要因素为硬度; 在 37℃ 时, 显著影响货架期的主要因素为 TAB 和硬度;

在 45 °C 时, 显著影响货架期的主要因素为菌落总数。对不同温度条件下模型的回归方程进行方差分析, 结果 (表 4) 显示方差分析结果均为差异极显著 ($p < 0.001$), 说明筛选变量后构建的多元回归预测模型合理, 能够很好对各温度条件下样品的货架期进行预测。

设定样品货架期临界值为: 菌落总数临界值为 4.90 lgCFU/g, TVB-N 临界值为 15.00 mg/kg, TBA 临

界值为 3.00 MDA mg/kg, 硬度的临界值为 80 G。将上述数据代入多元回归预测模型中获得不同贮藏温度条件下样品的预测货架期: 5 °C 条件下约为 16.17 (16) d, 15 °C 条件下约为 12.59 (12.5) d, 25 °C 条件下约为 7.83 (8.5) d, 37 °C 条件下约为 2.96 (3) d, 45 °C 条件下约为 1.79 (1.5) d。在 5 °C~37 °C 贮藏温度范围内, 多元回归模型预测值与实际货架期较为接近, 相对误差范围为 1.07%~7.89%。

表 3 不同贮藏温度条件下糊辣牛肉货架期预测多元回归方程

Table 3 Prediction equations for the shelf life of vacuum-packed spicy beef under different temperatures

贮藏温度/°C	方程指标	指标系数	R ² 调整	回归方程
5	常量 b	-14.482	0.997	Y=1.767X ₁ +0.846X ₂ -14.482
	TVB-N X ₁	1.767		
	菌落总数 X ₂	0.846		
15	常量 b	17.225	0.995	Y=-0.118X ₁ +0.979X ₂ +17.225
	硬度 X ₁	-0.118		
	菌落总数 X ₂	0.979		
25	常量 b	17.669	0.979	Y=-0.123X ₁ +17.669
	硬度 X ₁	-0.123		
37	常量 b	4.273	0.990	Y=0.362X ₁ -0.030X ₂ +4.273
	TAB X ₁	0.362		
45	常量 b	-0.234	0.975	Y=0.521X ₁ -0.234
	菌落总数 X ₁	0.521		

表 4 糊辣牛肉货架期预测多元回归方程的方差分析

Table 4 Variance analysis for the multiple regression equations of shelf-life prediction of spicy beef

贮藏温度/°C	模型	平方和	自由度	均方	F 值	p 值
5	回归	538.89	2	269.45	1462.40	<0.001
	残差	1.11	6	0.18		
	总计	540.00	8			
15	回归	373.63	2	186.82	819.28	<0.001
	残差	1.37	6	0.23		
	总计	375.00	8			
25	回归	235.61	1	235.61	375.35	<0.001
	残差	4.39	7	0.63		
	总计	240.00	8			
37	回归	59.54	2	29.77	390.39	<0.001
	残差	0.46	6	0.08		
	总计	60.00	8			
45	回归	14.67	1	14.67	314.43	<0.001
	残差	0.33	7	0.05		
	总计	15.00	8			

2.8.2 糊辣牛肉温度与货架期关系模型的建立
影响方便菜肴类型产品的环境因子较多, 如贮藏温度、包装、pH 和水分活度等, 其中贮藏温度是唯一

不受食品包装类型影响的环境因子^[24]。选取 5 °C、15 °C、25 °C、37 °C 和 45 °C 这 5 个贮藏温度。其中 5 °C 模拟冰箱冷藏室温度; 15 °C 模拟秋冬季室温; 25 °C 模

拟春夏季室温; 37 °C是根据罐头保温试验法选择; 45 °C是根据油脂加速氧化实验选择。根据 2.8.1 计算获得的 5 个温度条件下的货架期进行拟合, 得到温度 (X/K) 与货架期 (Y/d) 关系模型的回归方程如下: $Y=17.725-0.368X(R^2=0.969)$, 方差分析结果 (见表 5) 均为差异极显著 ($p<0.002$), 说明筛选变量后构建的模型合理, 能够很好对各温度条件下样品的货架期进行预测。应用此公式分别预测不同贮藏温度条件下样品的预测货架期: 5 °C条件下约为 15.89 (16) d, 15 °C条件下约为 12.21(12.5)d, 25 °C条件下约为 8.53(8.5) d, 37 °C条件下约为 4.11(3)d, 45 °C条件下约为 1.165 (1.5) d。在 5 °C~25 °C贮藏温度范围内, 温度与货

架期关系模型预测效果较好, 预测值与实测值相对误差范围为 0.29%~2.36%。

表 5 糊辣牛肉货架期温度与货架期关系回归方程的方差分析

Table 5 Variance analysis for the regression equation of the correlation between storage temperature and shelf life of spicy beef

模型	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
回归	141.43	1	141.43	126.04	<0.002
残差	3.37	3	1.12		
总计	144.80	4			

2.8.3 基于化学反应速率的糊辣牛肉货架期品质变化动力学模型的建立

表 6 不同贮藏温度条件下糊辣牛肉品质随时间变化的回归方程

Table 6 Kinetic equations of changes in the quality of vacuum-packed spicy beef under different storage temperatures

指标	反应级数	贮藏温度/°C	回归方程	回归系数	k 值
TVB-N 值	0	5	$y=0.430x+8.335$	0.993	0.430
		15	$y=0.521x+8.702$	0.984	0.521
		25	$y=0.719x+9.567$	0.911	0.719
		37	$y=1.329x+9.630$	0.930	1.329
		45	$y=2.729x+9.507$	0.943	2.729
	1	5	$y=0.032x+2.176$	0.988	0.032
		15	$y=0.039x+2.208$	0.964	0.039
		25	$y=0.051x+2.278$	0.879	0.051
		37	$y=0.097x+2.282$	0.869	0.097
		45	$y=0.199x+2.271$	0.891	0.199
TBA 值	0	5	$y=0.167x-0.201$	0.857	0.167
		15	$y=0.197x+0.005$	0.844	0.197
		25	$y=0.560x-1.009$	0.893	0.560
		37	$y=1.473x-1.159$	0.912	1.473
		45	$y=3.067x-0.778$	0.943	3.067
	1	5	$y=0.107x-1.027$	0.967	0.107
		15	$y=0.117x-0.766$	0.903	0.117
		25	$y=0.220x-1.053$	0.949	0.220
		37	$y=0.432x-0.678$	0.931	0.432
		45	$y=0.831x-0.443$	0.875	0.831
硬度	0	5	$y=-3.895x+157.0$	0.981	-3.895
		15	$y=-5.417+146.2$	0.986	-5.417
		25	$y=-7.981x+142.4$	0.981	-7.981
		37	$y=-15.45x+128.8$	0.887	-15.450
		45	$y=0.831x-0.443$	0.875	0.831
	1	5	$y=-0.037x+5.111$	0.962	-0.037
		15	$y=-0.065x+5.090$	0.941	-0.065
		25	$y=-0.117x+5.134$	0.960	-0.117
		37	$y=-0.239x+4.961$	0.938	-0.239
		45	$y=-0.374x+5.010$	0.985	-0.374

由 2.8.1 多元回归分析, 筛选出显著影响糊辣牛肉货架期的理化指标 TVB-N 值、TBA 和硬度。用 0 级和 1 级动力学方程分别对不同贮藏温度条件下牛肉 TVB-N 值、TBA 含量和硬度的变化进行拟合, 如表 6 所示。TBA 和硬度按 1 级模型所得回归方程的回归系数优于 0 级模型得到的回归模型 ($R^2 > 0.9$), 表明贮藏期糊辣牛肉的 TBA 含量和硬度变化均遵从 1 级反应动力学规律; TVB-N 值按 0 级模型所得回归方程的回归系数好于 1 级模型得到的回归模型 ($R^2 > 0.9$), 表明贮藏期方便菜肴糊辣牛肉的 TVB-N 值变化遵从 0 级反应动力学规律。

反应速率常数 k 与温度的关系一般符合 Arrhenius 方程形式^[25,26]:

$$k = k_0 e^{-\frac{E_A}{RT}} \quad (1)$$

式中: k_0 为回归系数; E_A 为反应活化能 J/mol; R 为气体常数 8.3144 J/(K·mol); T 为绝对温度/K。

分别以 TVB-N 值、TBA 和硬度的各级反应速率常数的对数 ($\ln k$) 为纵坐标, 贮藏温度的倒数 ($1/T$) 为横坐标拟合 Arrhenius 曲线, 所得曲线均有较好的线性关系 ($R^2 > 0.9$)。根据该曲线得 Arrhenius 方程中的活化能 E_A 和 k_0 , 如表 7 所示。在此基础上分别建立糊辣牛肉贮藏过程中 TVB-N 值、TAB 和硬度变化速率常数 k 与贮藏温度 T 之间的 Arrhenius 方程为:

$$k_{TVB-N} = 5.297 \times 10^5 \times \exp\left(-\frac{32.90 \times 10^3}{8.314T}\right) \quad (2)$$

$$k_{TBA} = 1.469 \times 10^6 \times \exp\left(-\frac{38.60 \times 10^3}{8.314T}\right) \quad (3)$$

$$k_{Hardness} = 3.836 \times 10^6 \times \exp\left(-\frac{42.78 \times 10^3}{8.314T}\right) \quad (4)$$

在不同温度条件下, 0 级反应的货架期时间符合公式 (5), 1 级反应的货架期时间符合公式 (6):

$$t = \frac{Q_t - Q_0}{k \times e^{-\frac{E_A}{RT}}} \quad (5)$$

$$t = \frac{\ln Q_t - \ln Q_0}{k \times e^{-\frac{E_A}{RT}}} \quad (6)$$

式中, Q_0 为初始品质; Q_t 为贮藏 t 时间后品质。

将 TVB-N 值、TBA、硬度的活化能和反应参数分别代入式 (5) 和 (6) 中, 可以得到贮藏过程中糊辣牛肉货架期预测模型 (7)、(8) 和 (9):

$$t_{TVB-N} = \frac{Q_t - Q_0}{5.297 \times 10^5 \times e^{-\frac{32.90 \times 10^3}{8.314T}}} \quad (7)$$

$$t_{TBA} = \frac{\ln Q_t - \ln Q_0}{1.469 \times 10^6 \times e^{-\frac{38.60 \times 10^3}{8.314T}}} \quad (8)$$

$$t_{Hardness} = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_t}{3.836 \times 10^6 \times e^{-\frac{42.78 \times 10^3}{8.314T}}} \quad (9)$$

表 7 动力学模型参数

Table 7 Parameters of kinetic models

模型	化学反应级数	活化能 E_a / (kJ/mol)	指前因子 K_0
TVB-N 值	0	32.90	5.297×10^5
TBA	1	38.60	1.469×10^6
硬度	1	42.78	3.836×10^6

应用上述公式分别对不同贮藏温度条件下样品的货架期预测验证, 见表 8。由此可知: t_{TVB-N} 、 t_{TBA} 和 $t_{Hardness}$ 动力学货架期模型预测效果较差, 预测值与实测值相对误差范围过大。这种情况可能由两方面原因造成: 一是糊辣牛肉本身所含物料较复杂, 大量植物性辅料及调味料使得碱性含氮挥发性物质的形成以及脂质氧化存在不确定性; 二是硬度测试过程中受测试者操作技能等主观因素影响较大, 造成动力学模型误差较大。

表 8 动力学模型预测验证

Table 8 Prediction and validation of the dynamics models

温度/°C	实际货架期/d	t_{TVB-N}		t_{TBA}		$t_{Hardness}$	
		预测值/d	相对误差/%	预测值/d	相对误差/%	预测值/d	相对误差/%
5	16	18.64	16.50	29.69	85.59	17.40	8.72
15	12.5	11.38	-8.98	16.64	33.10	9.15	-26.77
25	8.5	7.18	-15.55	9.69	14.02	5.03	-40.84
37	3	4.30	43.17	5.31	76.84	2.58	-14.03
45	1.5	3.12	107.76	3.64	142.74	1.70	13.28

3 结论

3.1 糊辣牛肉在不同贮藏温度条件下的贮藏

特性

贮藏期间糊辣牛肉的感官品质、菌落总数、pH、TVB-N、TBA 和硬度在不同贮藏温度条件下变化差异显著；贮藏温度越高，产品品质劣变速度越快。在整个贮藏过程中，伴随着 TVB-N 值和 TBA 升高，pH 值先降后升，牛肉硬度下降；确定看糊辣牛肉在 5℃、15℃、25℃、37℃ 和 45℃ 货架期分别为 16.0 d、12.5 d、8.5 d 和 3.0 d。不同贮藏温度条件下糊辣牛肉各项指标间的相关情况相似，菌落总数与感官品质、pH、TVB-N、TBA 和硬度均呈极显著相关，是影响该类产品质量劣变的主要因素。

3.2 糊辣牛肉货架期预测

(1) 建立多元回归货架期预测方程为：

5℃： $Y=1.767X_1$ (TVB-N 值) + $0.846X_2$ (菌落总数) - 14.482 ($R^2=0.997$)；

15℃： $Y=-0.118X_1$ (硬度) + $0.979X_2$ (菌落总数) + 17.225 ($R^2=0.995$)；25℃： $Y=-0.123X_1$ (硬度) + 17.669 ($R^2=0.979$)；

37℃： $Y=0.362X_1$ (TBA) - $0.030X_2$ (硬度) + 4.273 ($R^2=0.990$)；

45℃： $Y=0.521X_1$ (菌落总数) - 0.234 ($R^2=0.975$)；

在 5℃~37℃ 贮藏温度范围内，该模型预测值与实测值相对误差范围为 1.07%~7.89%。

(2) 建立温度 (X/K) 与货架期 (Y/d) 关系模型的回归方程如下： $Y=17.725-0.368X$ ($R^2=0.969$)，在 5℃~25℃ 贮藏温度范围内，该模型预测值与实测值相对误差范围为 0.29%~2.36%。

(3) TBA 和硬度符合 1 级化学反应动力学模型，TVB-N 值变化遵从 0 级反应动力学规律。建立品质变化动力学货架期预测模型如下：

$$t_{TVB-N} = \frac{Q_i - Q_0}{5.297 \times 10^5 \times e^{-\frac{32.90 \times 10^3}{8.314T}}}$$

$$t_{TBA} = \frac{\ln Q_i - \ln Q_0}{1.469 \times 10^6 \times e^{-\frac{38.60 \times 10^3}{8.314T}}}$$

$$t_{Hardness} = \frac{\ln Q_0 - \ln Q_i}{3.836 \times 10^6 \times e^{-\frac{42.78 \times 10^3}{8.314T}}}$$

t_{TVB-N} 、 t_{TVB-N} 和 $t_{Hardness}$ 动力学货架期模型预测效果较差，预测值与实测值相对误差范围过大。

4 讨论

由研究结论可发现：(1) 较高温度条件下 (45℃)，各组模型的预测值与实测值之间偏差较大。后续试验应考虑其他质量指标，进一步探索高温贮藏条件下该类型产品贮藏特性变化，建立更加准确的货架期预测模型。(2) 在常温和低温 (5℃~25℃) 条件下，温度 (X/K) 与货架期 (Y/d) 关系模型具有较高精度和较小偏差，预测性能优于其他模型，是一种快速可靠预测糊辣牛肉货架的有效手段。(3) 多元回归模型适用温度范围较温度 (X/K) 与货架期 (Y/d) 关系模型更广，但精度相对较差，生产上可采用该组模型估算 5℃~37℃ 贮藏条件下糊辣牛肉货架期。(4) 基于化学反应速率的糊辣牛肉品质变化动力学模型预测效果不理想，后续试验可探索基于微生物指标和消费者认可度的货架期预测模型研究。

参考文献

- [1] Shige Koseki. Microbial responses viewer (MRV): A new combase-derived database of microbial responses to food environment [J]. International Journal of Food Microbiology, 2009, 134(1): 72-82
- [2] Nga T T Mai, Maria Gudjonsdottir, Helene L Lauzon, et al. Continuous quality and shelf life monitoring of retail-packed fresh cod loins in comparison with conventional method [J]. Food Control, 2011, 22(6): 1000-1007
- [3] Dalgaard P, Lasse V J. Cooked and brined shrimps packed in a modified atmosphere have a shelf life of >7 months at 0℃, but spoil in 4-6 days at 25℃ [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2000, 35(4): 431-442
- [4] M C Hozbor, A I Saizl, M I Yeannes, et al. Microbiological changes and its correlation with quality indices during aerobic iced storage of sea salmon (*Pseudoperca semifasciata*) [J]. LWT, 2006, 39(2): 99-104
- [5] Birte F V, Kasthuri V, Masatake S, et al. Identification of *Shewanella baltica* as the most important H₂S-producing species during iced storage of Danish marine fish [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2005, 71(11): 6689-6697
- [6] Ole Mejlholm, Paw dalgaard. Development and validation of an extensive growth and growth boundary model for *Listeria monocytogenes* in lightly preserved and ready-to-eat shrimp [J]. Journal of Food Protection, 2009, 72(10): 2132-2143

- [7] 范文教,易宇文,贾洪锋,等.动力学模型预测川味发酵香肠货架期的研究[J].食品科学,2013,34(20):334-337
FAN Wen-jiao, YI Yu-wen, JIA Hong-feng, et al. Shelf life prediction of sichuan-type sausage through kinetic models [J]. Food Science, 2013, 34(20): 334-337
- [8] 王晓霞,徐宁,秦晓杰,等.不用贮藏温度泡椒凤爪品质变化及货架期预测[J].食品科学,2013,34(22):315-321
WANG Xiao-xia, XU Ning, QIN Xiao-jie, et al. Quality change and shelf life prediction of chicken feet with pickled peppers stored at different temperatures [J]. Food Science, 2013, 34(22): 315-321
- [9] 丘春强,张坤生,任云霞,等.酱卤鸡肉货架期预测的研究[J].食品工业科技,2012,33(22):351-354
QIU Chun-qiang, ZHANG Kun-sheng, REN Yun-xia, et al. Research of the prediction of sauce chicken shelf life [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(22): 351-354
- [10] 杨芳,王铁旦,周荣锋,等.真空包装板栗蓉在不同贮藏条件下的贮藏特性及其货架期预测[J].食品科学,2013,34(18):321-326
YANG Fang, WANG Tie-dan, ZHOU Rong-feng, et al. Storage characteristics and shelf life prediction of vacuum-packaged chestnut paste under different storage temperatures [J]. Food Science, 2013, 34(18): 321-326
- [11] 王文娟,汪水平,李代金.不同贮藏温度齐口裂腹鱼肌肉品质的变化及货架期预测[J].食品科学,2014,35(14):229-233
WANG Wen-juan, WANG Shui-ping, LI Dai-jin. Quality changes and shelf life prediction of scizothorax prenanti muscle at different storage temperatures [J]. Food Science, 2014, 35(14): 229-233
- [12] 郭全友,王锡昌,杨宪时.不同贮藏温度下养殖大黄鱼货架期预测模型的构建[J].农业工程学报,2012,28(10):267-273
GUO Quan-you, WANG Xi-chang, YANG Xian-shi. Predictive model construction of shelf life for cultured *Pseudosciaena crocea* stored at different temperatures [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(10): 267-273
- [13] 郭全友,许钟,杨宪时.养殖大黄鱼加工和冰藏过程中鲜度和细菌类型的变化[J].海洋渔业,2008,30(3):261-267
GUO Quan-you, XU Zhong, YANG Xian-shi. Changes on the freshness and the bacterial typology of cultured large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) during processing steps and iced storage [J]. Marine Fisheries.2008, 30(3): 261-267
- [14] 杨宪时,姜兴为,李学英,等.伽马辐照对冰藏大黄鱼品质和货架期的影响[J].农业工程学报,2011,27(2):376-381
YANG Xian-shi, JIANG Xing-wei, LI Xue-ying, et al. Effects of gamma irradiation on quality and shelf life of iced *Pseudosciaena crocea* [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(2): 376-381
- [15] 黄治国,卫春会,王红.半干型麻辣牛肉干加工工艺[J].食品研究与开发,2011,32(10):82-86
HUANG Zhi-guo, WEI Chun-Hui, WANG Hong. Processing technology of sub arid spicy-hot beef jerky [J]. Food Research and Development, 2011, 32(10): 82-86
- [16] 王福红,刘伯钧.牛肉干生产工艺的研究[J].肉类工业,2006,2:24-26
WANG Fu-hong, LIU Bo-jun. Research of the production process of beef jerky [J]. Meat Industry, 2006, 2: 24-26
- [17] 张美玲,肖蓉,杨涛.半干型五香牛肉干的研制[J].食品工业科技,2005,9:140-141,161
ZHANG Mei-ling, XIAO Rong, YAO Tao. Preparation of semi-dry tender anise beef jerky [J]. Science and Technology of Food Industry, 2005, 9: 140-141, 161
- [18] 马丽珍,南庆贤,戴瑞彤,等.真空包装冷却猪肉低剂量辐照后的理化和感官特性变化[J].农业工程学报,2003,19(4):184-187
MA Li-zhen, NAN Qing-xian, DAI Rui-tong, et al. Hanges in physicochemical and sensory characteristics of vacuum-packaged chilled pork irradiated at low-dose gamma ray [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(4): 184-187
- [19] 董洋,王虎虎,徐幸莲.真空包装盐水鹅在不同温度条件下的贮藏特性及其货架期预测[J].食品科学,2012,33(2):280-285
DONG Yang, WANG Hu-hu, XU Xing-lian. Storage characteristics and shelf life prediction of vacuum-packed salted goose under different storage temperatures [J]. Food Science, 2012, 33(2): 280-285
- [20] YANG H S. Effects of radix puerariae extracts on physicochemical and sensory quality of precooked pork sausage during cold storage [J]. LWT-food Science and Technology, 2012, 46(2): 556-562
- [21] 杨文鸽,薛长湖,徐大伦,等.大黄鱼冰藏期间 ATP 关联物含量变化及其鲜度评价[J].农业工程学报,2007,23(6):217-222
YANG Wen-ge, XUE Chang-hu, XU Da-lun, et al. Changes of ATP-related compounds contents and freshness evaluation of *Pseudosciaena crocea* meat during iced storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(6): 217-222
- [22] 王天佑,王玉娟,秦文.猪肉制品挥发性盐基氮值指标与其

- 感官指标的差异研究[J].食品工业科技,2007,28(12):124-126
- WANG Tian-you, WANG Yu-juan, QIN Wen. Study on the differences between value of TVB-N and sensory index of pork [J]. Science and Technology of Food Industry, 2007, 28(12): 124-126
- [23] Yanar Y, Fenercioglu H. The utilization of carp (*Cyprinus carpio*) flesh as fish ball [J]. Turkish Journal of Veterinary and Animal Science, 1998, 23: 361-365
- [24] 余晓琴,车晓彦,张丽平.食品货架期寿命预测[J].食品研究与开发,2007,28(3):83-87
- YU Xiao-qin, CHE Xiao-yan, ZHANG Li-ping. Predicting shelf-life of food-a review. [J]. Food Research and Development, 2007, 28(3): 83-87
- [25] 王璋,许时婴,江波,等.食品化学[M].北京:中国轻工业出版社,2003
- WANG Zhang, XU Shi-ying, JIANG Bo, et al. Food chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2003
- [26] Koutsoumanis K P, Taoukis P S, Drosinos E H, et al. Applicability of an Arrhenius model for the combined effect of temperature and CO₂ packaging on the spoilage microflora of fish [J]. Applied and Environmental Microbiology, 2000, 66(8): 3528-3534
- YU Xiao-qin, CHE Xiao-yan, ZHANG Li-ping. Predicting shelf-life of food-a review. [J]. Food Research and Development, 2007, 28(3): 83-87