

低温保鲜方法对泥鳅品质的影响

Effect of different low-temperature preservation methods on the properties of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*)

石秋玲¹ 尚永彪^{1,2,3} 林 静¹ 贺雪华¹

SHI Qiu-ling¹ SHANG Yong-biao^{1,2,3} LIN Jing¹ HE Xue-hua¹

(1. 西南大学食品科学学院, 重庆 400716; 2. 农业部农产品贮藏保鲜质量安全评估实验〔重庆〕, 重庆 400716; 3. 重庆市特色食品工程技术研究中心, 重庆 400716)

(1. College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Quality and Safety Risk Assessment Laboratory of Products Preservation [Chongqing], Ministry of Agriculture, Chongqing 400716, China; 3. Chongqing Special Food Programme and Technology Research Center, Chongqing 400716, China)

摘要:以生鲜泥鳅为原料,研究不同低温贮藏条件下泥鳅理化品质及微生物的变化,以期水产品低温保鲜技术研究提供理论依据。将宰杀后的泥鳅分别置于 4, -2.5, -18 °C 条件下贮藏。4 °C 泥鳅分别于贮藏 0, 2, 4, 6, 8, 10 d 时取样(-2.5 °C 和 -18 °C 泥鳅分别于贮藏 0, 5, 10, 15, 20, 25 d 时取样),进行感官评分及菌落总数、pH 值、TVB-N、TBA、汁液流失率、剪切力的测定。结果表明:不同温度下,泥鳅的感官评分和剪切值均随时间的延长而下降,菌落总数、TBA、TVB-N、汁液流失率均上升,pH 先快速下降后上升;相比于 4 °C, -2.5 °C 和 -18 °C 能更有效地抑制泥鳅感官品质的下降、微生物的生长、pH 值和 TBA 值的上升以及 TVB-N 的产生,但是在 -2.5 °C 下,泥鳅的感官评分较 -18 °C 下更高、汁液流失率更小;4, -2.5, -18 °C 贮藏泥鳅的货架期分别为 6, 20, 25 d。

关键词:泥鳅;低温保鲜;理化品质;菌落总数

Abstract: The changes of physicochemical qualities and microbiology in fresh loach treated at three different low-temperature conditions were investigated. The loach was slaughtered and then placed at 4 °C cold storage, -2.5 °C partial freezing, and -18 °C freezing storage conditions, respectively. Loach refrigerated was sampled at 0, 2, 4, 6, 8, 10 d (micro-frozen and freezing separately at 0, 5, 10, 15, 20, 25 d). The sensory evaluation, bacterial count, pH value, TVB-N, TBA, cooking loss, drip loss, and shear force were tested. The results showed that sensory and shear values decreased with time; aer-

obic bacterial count, TBA, TVB-N, drip loss rates rose; pH value decreased rapidly and then decreased, at the three different temperatures. Compared to refrigeration, the partial freezing and freezing storage could more effectively inhibit the decline of sensory, the growth of microbial, the increase of pH and TBA value as well as the production of TVB-N. However, under the condition of partial freezing, the sensory score of the loach was higher than that under the frozen condition, and the drip loss rates was smaller than that of the frozen; the shelf life of chilled, partial frozen and frozen loach were 6, 20 and 25 d respectively.

Keywords: loach; low-temperature preservation; physicochemical quality; colonies

泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*),又名鳅、鳅鱼、和鳅,属于鲤形目、鲤亚目、鳅科的小型鱼类^[1]。泥鳅含优质蛋白质、脂肪、维生素、烟酸、铁、磷、钙等,具有营养价值高、营养成分全面的特点。中国泥鳅资源丰富,是世界上主要的泥鳅生产与消费国家,也是日本、韩国市场的主要供应地。目前中国的泥鳅产品主要以鲜活状态运输和销售,已经不适应当前市场的需求,泥鳅经过宰杀加工后再供应市场将是未来的发展方向。当前国内外对泥鳅宰杀后的品质变化及保鲜技术的研究还相对不足,于建行^[2]曾研究了不同贮藏方式对泥鳅品质和肌原纤维蛋白的影响,但仅局限于泥鳅的低温及气调保鲜,且货架期较短(10 d 左右),不能满足市场上对泥鳅较长时间保藏的需求。

鱼类常见的低温保鲜有:冻藏保鲜、冷藏保鲜、微冻保鲜以及冰温保鲜^[3],微冻和冻藏可以延长食品的保鲜期并能节约资源,因此本试验主要研究生鲜泥鳅在冷藏(4 °C)、微冻(-2.5 °C)和冻藏(-18 °C)3 个低温条件下品质的变化,得出泥鳅合适的贮藏温度及货架期,旨在为泥鳅保鲜及深加工提供理论参考。

基金项目:重庆市特色食品工程技术研究中心能力提升项目(编号: cstc2014pt-gc8001);重庆市特色效益水产业关键技术集成示范项目(编号:20150718)

作者简介:石秋玲,女,西南大学在读硕士研究生。
通信作者:尚永彪(1964—),男,西南大学教授,博士。
E-mail: shangyb64@sina.com
收稿日期:2017-02-08

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

泥鳅:台湾鳊鳅,重庆市梁平县水生农业养殖公司,选择体态完好、体型均匀、尾重约 90~110 g 的泥鳅进行试验;

浓 H₂SO₄:分析纯,重庆川东化工有限公司化学试剂厂;

三氯乙酸(Trichloroacetic acid, TCA)、CuSO₄、H₃BO₃、NaCl、KOH、营养琼脂、90%乙醇:分析纯,成都市科龙化工试剂厂;

硫代巴比妥酸(Thiobarbituric acid, TBA):分析纯,上海科丰化学试剂有限公司;

MgCl₂:分析纯,天津市福晨化学试剂厂;

甲基红、次甲基蓝:分析纯,北京鼎国生物技术有限责任公司;

HCl:分析纯,宁波大川精细化工有限公司。

1.2 仪器与设备

电子天平:FA2004A 型,海精天电子仪器有限公司;

色差仪:UltraScan PRO 型,美国 Hunter Lab 公司;

半微量凯氏定氮瓶:1765 型,天长市长城玻璃仪器制造厂;

匀浆机:XHF-D 型,宁波新芝生物科技股份有限公司;

pH 计:PHS-4C+型,成都世纪方舟科技有限公司;

冷冻离心机:Avanti J-30I 型,美国贝克曼库尔特公司;

可见分光光度计:722-P 型,上海现科仪器有限公司;

质构仪:TA.XT2i 型,英国 Stable Microsystem 公司。

1.3 方法

1.3.1 样品预处理 选择个体大小均一、无损伤的活泥鳅,带头宰杀去内脏处理后,用水洗净并沥干表面水,紫外杀菌 15 min 后,分装在硬塑托盘中用 PVC 覆膜包装,每盘约 200 g,分别放入 4, -2.5, -18 ℃ 冰箱贮藏。贮藏过程中,4 ℃ 贮藏的泥鳅,分别于贮藏 0, 2, 4, 6, 8, 10 d 时随机取样,进行感官评价、细菌总数、pH 值、挥发性盐基氮(Total volatile basic nitrogen, TVB-N)、硫代巴比妥酸(Thiobarbituric acid, TBA)、汁液流失率、剪切力的测定;-2.5 ℃ 和 -18 ℃ 贮藏的泥鳅,分别于贮藏 0, 5, 10, 15, 20, 25 d 时随机取样,在 4 ℃ 冰箱中自然解冻后测定上述各理化及微生物指标。

1.3.2 冰点的测定 将泥鳅死后,整条放入 -18 ℃ 冰柜中降温,将自动温度仪探针插入鱼背部肌肉中,每隔 30 s 观察一次温度的变化,当温度出现一段相对稳定的阶段时该温度即为泥鳅的冻结点。同时,温度随时间变化的曲线图也就是泥鳅的冻结曲线图。

1.3.3 感官评定 根据傅德成^[4]的方法修改如下:选 10 名经专业培训后的同学分别对泥鳅的气味、体表光泽度、肌肉组织弹性 3 个方面进行感官评分。其中,当分数为 22~30 时为感官一级,分数为 14~22 时为感官二级,分数为 0~14 时为感官三级。当泥鳅的评分达到三级时,表明泥鳅已不可食用。感官评分表见表 1。

1.3.4 菌落总数的测定 按 GB/T 4789.2—2010《食品卫生微生物学检验菌落总数测定》执行。

表 1 感官评分表

Table 1 Sensory evaluation cod

评分	体表颜色	肌肉组织弹性	气味
10~8	正常,富有光泽	组织紧密,弹性强	鱼肉固有气味
8~6	正常,有光泽	组织较紧密,有弹性	无异味
6~4	暗淡,稍有光泽	组织尚紧密,弹性较差	稍有异味
4~2	较暗淡,无光泽	组织较松弛,弹性差	臭味、氨味
2~0	暗淡,无光泽	组织松弛,肌肉纤维模糊	恶臭

1.3.5 pH 值的测定 根据朱学伸等^[5]和 Arashisar^[6]的方法修改如下:称取泥鳅碎肉 10.00 g 于 250 mL 烧杯中,加入 100 mL 蒸馏水,10 000 r/min 匀浆 20 s,最后用 PHS-4C+型 pH 计测定泥鳅的 pH 值。

1.3.6 挥发性盐基氮的测定 根据 SC/T 3032—2007《水产品中挥发性盐基氮的测定》方法修改如下:将泥鳅样品去骨、去刺、去皮、搅碎,称取碎肉 10.00 g 于 250 mL 烧杯中,加 100 mL 蒸馏水,静置 30 min,期间每隔 5 min 搅拌一次,之后过滤,取滤液置于 4 ℃ 冰箱中备用。将 10 mL H₃BO₃ 和 2~3 滴甲基红和次甲基蓝混合指示剂加入 10 mL 锥形瓶中,置于半微量凯氏定氮仪冷凝管下端,使其端口没入液面下,移取 5 mL 上述滤液于蒸馏反应室内,加 5 mL MgO 混悬液,蒸馏 3 min 后,用 0.01 mol/mL HCl 标准溶液滴定至蓝紫色。以蒸馏水代替样液做空白试验。挥发性盐基氮含量按式(1)计算:

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 14}{m \times 5 \div 100} \times 100, \tag{1}$$

式中:

X——样品中挥发性盐基氮的含量,mg/100 g;

V₁——待测样液消耗盐酸标准液的体积,mL;

V₂——空白消耗盐酸标准液的体积,mL;

c——盐酸标准液的浓度,mol/L;

m——样品质量,g;

14——与 1 mL 盐酸标准滴定溶液相当的氮的含量,mg。

1.3.7 硫代巴比妥酸值的测定 根据 Lofiego 等^[7]的方法修改如下:称取泥鳅碎肉 10.00 g 于 100 mL 离心管中,加入 25 mL 20% TCA 溶液和 20 mL 蒸馏水,10 000 r/min 匀浆 20 s 后,在 5 500 r/min、4 ℃ 条件下冷冻离心 15 min,过滤后取上清液。移取 2 mL 上述滤液于 25 mL 比色管中,加入 2 mL 0.02 mol/L TBA 溶液,沸水浴 20 min,同时做空白(1 mL TCA+1 mL 蒸馏水+2 mL 0.02 mol/L TBA),取出冷却至室温,在 532 nm 处测定混合液的吸光值 A。以 532 nm 波长处的吸光值为 x 轴,以 TBA 值为 y 轴,采用标准品按上述操作作出标准曲线,得回归方程 $y = 0.773\ 1x - 0.002\ 5$, $R^2 = 0.999\ 8$,根据样品的吸光度值,计算其 TBA 值。

1.3.8 汁液流失率的测定 将样品取出,待其解冻完全后擦干表面水分,称量样品的重量为 m₂,新鲜样品贮藏前的重量为 m₁。汁液流失率(Drip loss, DL)按式(2)计算:

$$DL = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:

DL——汁液流失率,%;

m_1 ——贮藏前样品质量,g;

m_2 ——贮藏后样品质量,g。

1.3.9 剪切值的测定 根据 Luo 等^[8]和高淑娟^[9]的方法修改如下:将已去骨、去刺的泥鳅密封后放入水浴锅中,80 ℃保温 20 min 直至肉中心温度达到 70 ℃,取出肉样按与肌肉纤维垂直方向切成 30 mm×1 mm×1 mm 的小块,用质构仪测定剪切值(Shear Force,SF)。质构仪参数:探头类型为 HDP-BSW;测前速度 2 mm/s;测中速度 1 mm/s;侧后速度 5 mm/s;下降距离 23 mm;触发力 25 g。

1.3.10 数据处理 所有试验均重复测定 3 次,每次 3 个平行,用 Excel 和 SPSS Statistics 17.0 对数据进行统计分析,计算出平均值和标准偏差(±SE)及显著性分析,用 Origin 8.6 制图。

2 结果与分析

2.1 冻结曲线

泥鳅在-18 ℃冻藏过程中的冻结曲线见图 1。由图 1 可知,泥鳅的冻结点为-1.2 ~ -1.4 ℃,泥鳅的初体温度为 14 ℃,从初体温度下降到冻结点需要 20 min。很多研究指出水产品的冰点为-1 ~ -2.5 ℃,例如鲤鱼冰点为-1.2 ~ -1.8 ℃^[10]、罗非鱼的冰点为-2.0 ~ -2.5 ℃^[11],而大黄鱼在-2.0 ℃左右^[12]。根据泥鳅的冻结点,可以选择 -2.5 ℃作为微冻保鲜温度。

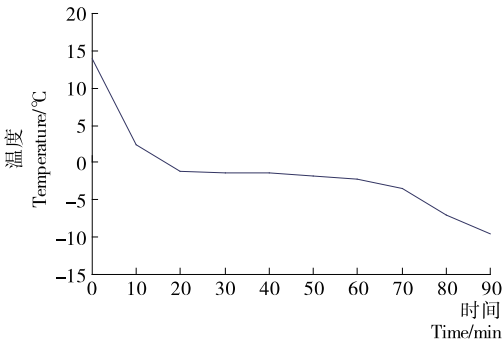
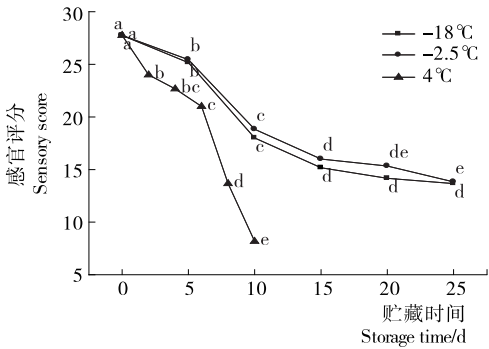


图 1 泥鳅的冻结曲线
Figure 1 Freezing curves of loach

2.2 感官评分的变化

泥鳅在不同低温下贮藏时感官评定的变化见图 2。由图 2 可知,3 组泥鳅的感官评分均随贮藏时间的延长而减小。新鲜泥鳅感官评分为 27.75 分。冷藏组泥鳅第 6 天感官评分为 21.00 分,已低于一级鲜度,第 8 天时评分下降到 13.67 分($P<0.05$),已低于感官标准二级要求,此时泥鳅已经腐败变质,失去了可食性。微冻组的评分高于冻藏组,第 5 天时感官评分分别为 25.25,25.17 分,仍为感官一级,第 10 天下降较快($P<0.05$),第 20 天泥鳅的感官评分仍然是感官二级,分别为 15.33,14.17 分,贮藏 25 d 后感官评分才降到了感官三级,此时泥鳅虽然没有腐败的异臭味,但色泽已经变淡,组织失去弹性。试验期间,微冻和冻藏组的感官变化速率较为接近($P>0.05$),但微冻组的评分一直高于冻藏组,

且明显低于冷藏组($P<0.05$),说明微冻和冻藏条件下,泥鳅的腐败变质速度较冷藏相比较缓慢,可延长泥鳅的货架期。就感官指标而言,微冻贮藏的效果好于冻藏,可能是微冻贮藏时泥鳅体内水分生成的冰晶比冻藏条件下产生的更小,对肌肉的损伤程度小,因此肌肉组织状态更好。



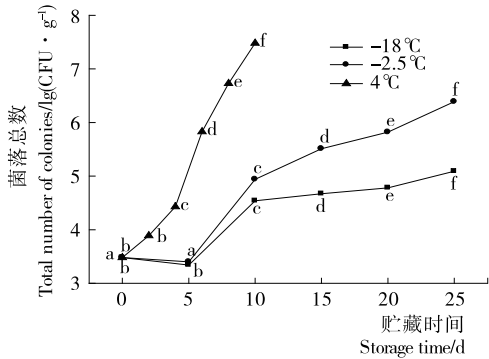
同一条曲线上小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)
图 2 不同低温贮藏条件下泥鳅感官评分的变化
Figure 2 Change of sensory scores of loach during storage at 4 °C, -2.5 °C and -18 °C

2.3 菌落总数的变化

泥鳅在不同低温下贮藏时菌落总数的变化见图 3。根据 GB 18406.4—2001 要求水产品菌落总数 ≤ 6 lg CFU/g。由图 3 可知,冷藏泥鳅的菌落总数均呈显著增长趋势($P<0.05$),且在第 4~6 天上升最快($P<0.05$)。微冻和冻藏泥鳅菌落总数呈先下降后上升趋势,在第 5 天时有最小值分别为 3.34,3.40 lg CFU/g。冷藏的第 8 天和微冻的第 25 天,泥鳅的菌落总数分别为 6.73,6.39 lg CFU/g,已超过 GB 18406.4—2001 规定的范围,此时泥鳅已经腐败变质,失去食用价值,冻藏泥鳅到试验结束时微生物指标仍未超过规定范围,可能是在微冻和冻藏条件下,水分活度较少,微生物可利用的自由水较低,从而抑制微生物的生长。由此可知贮藏温度越高,泥鳅的菌落总数增长得越快,冷藏、微冻泥鳅的货架期分别为 6,20 d,而冻藏泥鳅的货架期为 25 d。

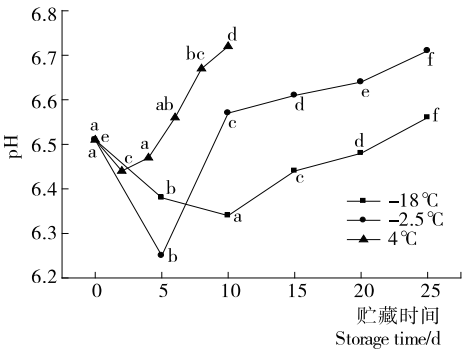
2.4 pH 值的变化

泥鳅在不同低温下贮藏时 pH 值的变化见图 4。由图 4 可知,3 组泥鳅的 pH 值均呈先下降后上升的趋势,且变化显



同一条曲线上小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)
图 3 不同低温贮藏条件下泥鳅菌落总数的变化
Figure 3 Change of paerobic bacterial count of loach during storage at 4 °C, -2.5 °C and -18 °C

著($P<0.05$)。新鲜泥鳅 pH 值为 6.51,冷藏、微冻和冻藏组分别在第 2、5 和 10 天降到最低值,分别为 6.44,6.25,6.34,之后逐渐增大,到贮藏结束时分别达到了 6.72,6.71,6.56。3 组泥鳅 pH 在贮藏期的变化均呈“V”字形。这与李越华等^[13]对鲫鱼在冷藏和微冻贮藏下品质变化的研究中的 pH 值变化趋势相一致。这可能是泥鳅死后,体内糖元分解产生乳酸、磷酸肌酸等酸性物质,pH 值下降,之后随着蛋白质、氨基酸分解,呈碱性的含氮产物不断增加,pH 又回升,最终接近碱性。水产品 pH 值的变化与其鲜度密切关系,因此 pH 值也可作为评价水产品鲜度的一项指标^[14]。根据本试验的结果可知,贮藏温度越低,泥鳅的腐败速率越慢。



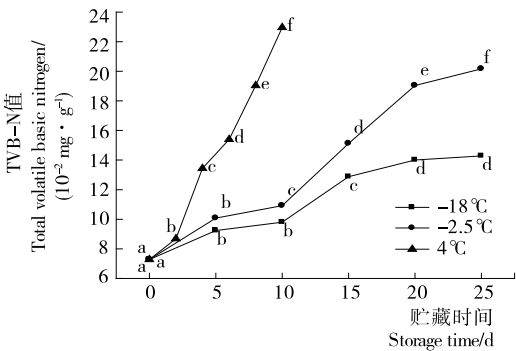
同一条曲线上小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 4 不同低温贮藏条件下泥鳅 pH 值的变化

Figure 4 Change of pH value of loach during storage at 4 °C, -2.5 °C and -18 °C

2.5 TVB-N 的变化

泥鳅在不同低温下贮藏时 TVB-N 的变化见图 5。由图 5 可知,冷藏泥鳅 TVB-N 含量呈显著上升趋势($P<0.05$),2 ~ 4 d 时上升最明显,从 8.68 mg/100 g 上升到了 13.44 mg/100 g,第 8 天时 TVB-N 值达到 19.04 mg/100 g,虽未超过 GB 2733—2015 中规定的 20 mg/100 g,但此时泥鳅已有明显的胺臭味,肌肉已经腐败变质。微冻和冻藏组泥鳅 TVB-N 的产生受到了明显的抑制,但第 25 天微冻组 TVB-N 值达到了 20.16 mg/100 g,已超过 GB 2733—2015 标准规定,而冻藏组的 TVB-N 含量一直处于较低水平。结合感官评分和 TVB-N 值的分析,可知冷藏和微冻泥鳅的贮藏时间分别为 6,20 d,在此期间泥鳅保有良好的食用价值,



同一条曲线上小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

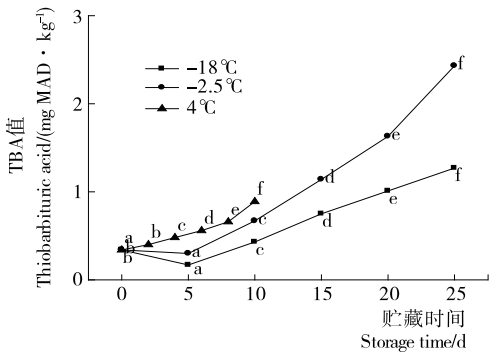
图 5 不同低温贮藏条件下泥鳅挥发性盐基氮的变化

Figure 5 Change of total volatile basic nitrogen of loach during storage at 4 °C, -2.5 °C and -18 °C

冻藏泥鳅贮藏期为 25 d。

2.6 TBA 的变化

泥鳅在不同低温下贮藏时 TBA 的变化见图 6。由图 6 可知,贮藏温度越高,TBA 值增长越快($P<0.05$)。新鲜泥鳅 TBA 值为 0.34 mg MAD/kg,第 10 天冷藏、微冻和冻藏组的 TBA 值分别上升到 0.89,0.67,0.43 mg MAD/kg,分别增加 0.55,0.33,0.09 mg MAD/kg,说明低温能有效抑制泥鳅脂肪氧化的速度,这与龚婷^[15]的研究结果低温贮藏能减缓草鱼片中的脂肪酸氧化速度相一致。但随着时间的延长,微冻和冻藏组的 TBA 值仍在增加,且速度越来越快($P<0.05$),说明低温虽能抑制酶的活性,能抑制微生物的生长,但是脂肪的氧化仍然发生,泥鳅的脂肪酸多为不饱和脂肪酸,随着时间的延长,脂肪的氧化程度会不断加深,对肉的品质和营养特性都有不良影响^[16]。



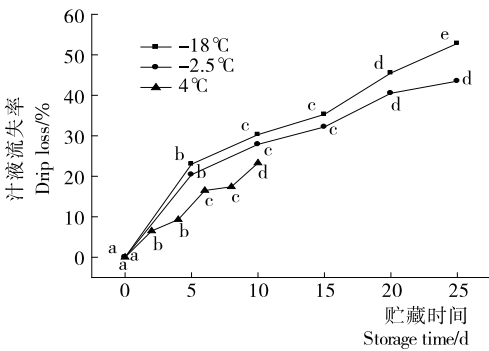
同一条曲线上小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 6 不同低温贮藏条件下泥鳅硫代巴比妥酸值的变化

Figure 6 Change of thiobarbituric reactive substances of loach during storage at 4 °C, -2.5 °C and -18 °C

2.7 汁液流失率的变化

泥鳅在不同低温下贮藏时汁液流失率的变化见图 7。由图 7 可知,3 组泥鳅的汁液流失率均呈上升趋势,且在贮藏前期上升最显著($P<0.05$)。微冻和冻藏组泥鳅的汁液流失率明显大于冷藏组($P<0.05$),可能是微冻和冻藏时,泥鳅肌肉组织产生冰晶,之后冰晶不断长大造成肌肉组织损伤,表现为细胞间隙扩大,细胞膜破裂及肌原纤维的平均距离减小,当损伤严重时,肉质间的缝隙比较大,内部冰晶融化的水可以通过这些缝隙自然地向外流出,当损伤轻微时,内部冰晶



同一条曲线上小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

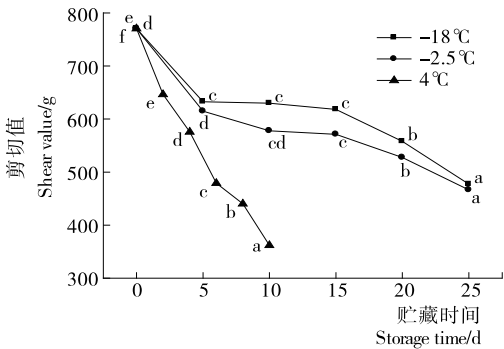
图 7 不同低温贮藏条件下泥鳅汁液流失率的变化

Figure 7 Change of drip loss of loach during storage at 4 °C, -2.5 °C and -18 °C

融化的水由于毛细管作用继续保持在肉质中,需要加压才能使之流出。

2.8 剪切值的变化

泥鳅在不同低温下贮藏时剪切值的变化见图 8。由图 8 可知,3 组泥鳅的剪切值均成下降的趋势。冷藏组泥鳅的剪切值在整个贮藏期间均在快速下降($P<0.05$),由鲜样的 770.6 g,降到了第 10 天的 362.1 g,降了 53.01%,可能是随着时间的延长蛋白质发生变性,肌原纤维蛋白不断断裂溶解,直径变小,导致剪切值不断降低。这与 Pornrata 等^[17]报道的虾肉剪切值随冷藏时间的延长而显著降低的结论相一致。另外微冻和冻藏组剪切值也下降,可能原因是:①在贮藏期间,由于冰晶的形成—溶解—长大,离子强度的增加,诱导肌球蛋白的变性,进而破坏了肌动球蛋白复合体,导致了 Ca^{2+} -ATPase 的活性降低,进而导致肌动蛋白变性;②冰晶对肌细胞形成机械损伤,使蛋白立体结构发生变化,导致剪切值下降^[18-19]。



同一条曲线上小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)

图 8 不同低温贮藏条件下泥鳅剪切值的变化

Figure 8 Change of SF of loach during storage at 4 °C, -2.5 °C and -18 °C

3 结论

本试验综合分析了泥鳅在不同低温条件下贮藏的感官、细菌总数、pH、TBA、TVB-N、汁液流失率及剪切力等指标的变化规律。结果表明:冷藏、微冻和冻藏条件下,泥鳅的感官评分和剪切值均随时间的延长而下降,菌落总数、TBA 值、TVB-N、汁液流失率均上升,pH 先快速下降后上升;相比于冷藏而言,微冻和冻藏能更有效抑制感官的下降、微生物的生长、pH 值和 TBA 值的上升以及 TVB-N 的产生,但是在微冻条件下,泥鳅的感官评分较冻藏条件下更高、汁液流失率更小。微冻泥鳅的物理品质包括感官、汁液流失、剪切值均要优于冻藏泥鳅。

综合感官、菌落总数、TVB-N 等指标可得,冷藏和微冻泥鳅的货架期分别为 6,20 d,冻藏泥鳅的货架期为 25 d。结合泥鳅品质、经济成本及市场对泥鳅保质期的要求等多方面考虑,在贮藏时间要求不长(20 d 之内)的情况下,建议在工业化泥鳅加工、运输、销售过程中采用微冻保鲜。低温保鲜为泥鳅的加工提供了一定的理论基础,但是本试验中,缺少对泥鳅脂肪酸、蛋白质等品质的研究,今后可从泥鳅的脂肪酸、肌原纤维蛋白的功能特性和结构特性方向进行研究,为

泥鳅的食用安全及深加工提供新的理论依据。

参考文献

[1] 王有基. 泥鳅早期摄食节律及不饵料和延迟投饵对其生长和成活的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 1.

[2] 于建行. 泥鳅贮藏保鲜及鱼糜凝胶制备工艺研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015: 13-60.

[3] ÓLAFSDÓTTIR G, MARTINSDÓTTIR E, OEHLenschläGER J, et al. Methods to evaluate fish freshness in research and industry[J]. Trends Food Sci Technol, 1997, 8(8): 258-265.

[4] 傅德成. 食品质量感官鉴别指南[M]. 北京: 中国标准出版社, 2001: 192-194.

[5] 朱学伸. 动物宰后肌肉成熟期间乳酸含量与 pH 的变化[D]. 南京: 南京农业大学, 2007: 24.

[6] ARASHISAR S, HISAR O, KAYA M, et al. Effects of modified atmosphere and vacuum packaging on microbiological and chemical properties of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets[J]. International Journal of Food Microbiology, 2004, 97(2): 209-214.

[7] LOFIEGO D P, SANTORO P, MACCHIONI P, et al. The effect of dietary supplementation of vitamins C and E on the α -tocopherol content of muscles, liver and kidney, on the stability of lipids, and on certain meat quality parameters of the longissimus dorsi of rabbits[J]. Meat Science, 2004, 67(2): 319-327.

[8] LUO Xin, ZHOU Guang-hong. Effect of electrical stimulation and delay chilling on eating quality of beef[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(1): 188-194.

[9] 高淑娟. 两段式冷却及电刺激对牛肉食用品质和肌原纤维超微结构的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2009: 17.

[10] 何雪莹. 冰温保鲜对鲤鱼鱼肉品质特性及其理化特性影响的研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012: 10.

[11] 张强. 罗非鱼真空微冻保鲜技术研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 15.

[12] 叶萍萍. 微冻鳙鱼保鲜技术研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2011: 14.

[13] 李越华, 俞所银, 任青, 等. 鲫鱼在冷藏和微冻贮藏下品质变化的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(14): 335-362.

[14] 胡玥, 吴春华, 姜晴晴, 等. 微冻技术在水产品保鲜中的研究进展[J]. 食品工业科技, 2015, 36(9): 384-390.

[15] 龚婷. 生鲜草鱼片冰温气调保鲜的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 40.

[16] DIAS J, NUNES M L, MENDES R R. Effect of frozen storage on the chemical and physical properties of black and silver scabardfish[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1994, 66(3): 327-335.

[17] PORNRATA S, SUMATEB T, ROMMANEEB S, et al. Changes in the ultrastructure and texture of prawn muscle (*Macrobrachium rosenbergii*) during cold storage[J]. LWT-Food Science and Technology, 2007, 40: 1 747-1 754.

[18] BRADY P L, HUNECKE M E. Correlations of sensory and instrumental evaluations of roast beef texture[J]. Food Science, 1985, 50(2): 154-157.

[19] 梁锐, 张宾, 李淑芬, 等. 鲈鱼在不同冻藏温度下品质变化的研究[J]. 浙江海洋学院学报: 自然科学版, 2012, 31(4): 345-349.