

## 微冻贮藏条件下鲈鲜度和质构变化

高昕\*, 韩芳, 许加超, 付晓婷, 李辉, 于甜

(中国海洋大学食品科学与工程学院, 山东 青岛 266003)

**摘要:** 研究鲈在微冻贮藏条件下组织构造、质地剖面分析(TPA)及流变学特征参数(弹性模量 $E$ , 应力松弛时间 $\tau$ , 粘性模量 $\eta$ , 破断强度)的变化, 同时结合鲜度指标、细菌总数、 $K$ 值、TVB-N、pH值和感官特性判断其在微冻条件下的品质变化特征。结果表明, 随着贮藏时间的延长, 菌落总数、 $K$ 值和TVB-N上升, pH值则先下降后上升, 且上升速度随温度的升高而加快; 组织结构呈现肌原纤维间空隙逐渐增大, 方向性增强, 构造逐渐断裂崩解的趋势; 弹性模量呈上升趋势, 破断强度、硬度、弹性、粘聚性、咀嚼性呈下降趋势, 而应力松弛时间、粘性模量的变化则不显著。与冷藏样品相比, 微冻样品的货架期能够延长20 d, 说明微冻条件比冷藏条件能更有效的抑制鲈体内酶活性及微生物的作用, 缓解蛋白质分解, 延长鲈的贮藏期。

**关键词:** 鲈; 鲜度; 组织构造; 流变学特性参数; 质地剖面分析

**中图分类号:** TS 205

**文献标识码:** A

鲈(*Lateolabrax japonicus*)又称花鲈、寨花、鲈板等, 俗称鲈鲛, 属鲈形目(Perciformes), 鲈亚目(Percoidei), 鲈科(Sarranidae), 鲈属(*Lateolabrax*), 分布于太平洋西部, 我国沿海均产之, 黄海、渤海较多。鲈体延长而侧扁, 一般体长30~40 cm, 体重400~1 000 g, 其肉质坚实, 洁白嫩滑, 肉味鲜美, 营养丰富<sup>[1]</sup>, 是我国沿海和江河的名贵经济鱼类。此外, 鲈还具有较好的食疗保健作用, 鲈的鳃、肉均可入药<sup>[2]</sup>。

近年来鲈养殖业迅速发展, 且产量逐年增长, 然而单一的活体运输销售方式不仅成本高, 而且很难满足鲈产量快速增长的要求<sup>[3]</sup>。因此, 鲈的有效保鲜成为一个亟待解决的问题。目前鲈的研究主要集中在鲈的营养成分分析<sup>[4-6]</sup>, 生物学及养殖<sup>[7-9]</sup>等方面, 鲈的保鲜研究较少, 曾名勇等<sup>[3]</sup>对鲈微冻保鲜过程中的鲜度指标进行了研究, 叶盛权<sup>[10]</sup>对冰藏贮存中鲈鲜度的化学指标进行了分析, 而应用物性学手段(组织构造、应力松弛、破断强度、质地剖面分析)对其质构的研究却鲜有报道, 这在很大程度上制约了该类水产品的应用及其深加工制品的质量。

鉴于此, 本文通过研究鲈在微冻贮藏条件下的组织构造及其质地剖面分析(TPA)和流变学特性的变化, 同时测定细菌总数、 $K$ 值、TVB-N值、pH值和感官特性等鲜度指标, 并以冷藏保鲜样品为对照, 探索微冻贮藏条件对鲈保鲜的时效性及其质量变化规律和影响因素, 为该类水产品的优质高效贮运和深加工提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 材料

鲜活鲈购自青岛水产品批发市场, 平均尾重(813.55±61.95)g, 平均体长(40.22±1.30)cm。

#### 1.2 样品处理

活鱼即杀后, 去鳞, 去内脏, 沿脊椎剖为两半, 取脊背肉, 单侧平均质量(130.13±12.58)g, 长(19.69±1.01)cm, 保鲜袋包装, 置于低温恒温箱贮藏备用。微冻贮藏(-3±0.1)℃, 冷藏(4±0.5)℃。

#### 1.3 测定项目

**基本成分的测定** 水分含量采用常压干燥法测定, 粗蛋白含量采用凯氏定氮法测定, 脂肪含量采用氯仿-甲醇法测定, 灰分含量采用干法灰

收稿日期:2010-04-08 修回日期:2010-05-21

资助项目:新世纪人才计划(NCET-07-0779);国家自然科学基金项目(30771674);山东省科技攻关计划项目(2007GG10005008158)

通讯作者:高昕, E-mail: xingao@ouc.edu.cn

化法测定<sup>[11]</sup>。

细菌总数的测定 采用平板培养计数法<sup>[12]</sup>。

K 值的测定 参考 Yokoyama 等<sup>[13]</sup>的方法。

取斩碎的鱼肉 2 g,加入 10 mL 预先冷却的 10% 过氯酸(PCA),用高速组织粉碎机匀浆后在 3 ℃离心(9 000 r/min)15 min,收集上清液。沉淀部分加入 5% PCA 10 mL,匀浆后在 3 ℃离心(9 000 r/min)10 min,收集上清液。沉淀部分重复上述操作,收集上清液。

合并上清液,先后用 10 mol/L KOH 和 1 mol/L KOH 将其中和至 pH 6.4~6.8,用超纯水定容至 50 mL,通过孔径为 0.22 μm 的滤膜过滤,滤液于 -22 ℃保存,用于 ATP 及其降解产物的高效液相色谱(HPLC)测定。

色谱分析条件为:色谱柱, Capcellpack C18 SG(4.6 × 150 mm);流动相,20 mmol/L 乙酸、20 mmol/L 柠檬酸、40.0 mmol/L 三乙胺混合液;检测波长,260 nm;进样量,10 μL。

鱼肌肉中 ATP 按 ATP→ADP→AMP→IMP→HxR→Hx 途径降解,K 值计算公式如下:

$$K(\%) = (HxR + Hx) / (ATP + ADP + AMP + IMP + HxR + Hx) \times 100$$

式中,ATP、ADP、AMP、IMP、HxR 和 Hx 分别代表相应化合物,即腺苷三磷酸、腺苷二磷酸、腺苷酸、

肌苷酸、肌苷(次黄嘌呤核苷)和次黄嘌呤的浓度,以 μmol/g 湿重表示。

TVB-N 的测定 采用 GB/T 5009.44—2003 中微量扩散法测定 TVB-N。

pH 值的测定 取斩碎的鱼肉 2 g,加入 10 倍体积的蒸馏水,经高速组织分散机匀浆,充分振荡静置 30 min,取滤液,用 pH 计直接测定。

微观组织观察 实验采用 H. E 染色法。苏木精染液为碱性,主要使细胞核内的染色质与胞质内的核糖体着蓝色;伊红为酸性染料,主要使细胞质和细胞外基质中的成分着红色。因此经染色后鱼肉肌肉组织的细胞核被染成蓝色,细胞质、胶原纤维、肌纤维及嗜酸性颗粒染成红色,染色效果(红、蓝)对比鲜明。

将样品切成 2 cm × 2 cm × 2 cm 的小块,包埋于 OCT 液中, -20 ℃冻藏 20 min 以上,用冷冻切片机(Model CM 1900;Leica Co. Ltd;USA)切成 8 μm 厚,贴于载玻片上,经 H. E 染色法染色后,用 Olympus BX51 光学显微镜放大 100 倍进行观察。

感官鲜度评定 以鲈片的色泽、气味、组织形态和弹性作为指标进行感官评定,评定人员由经过专门训练的 5 名人员组成,具体评分标准见表 1<sup>[14-15]</sup>。

表 1 鲈片感官评分标准  
Tab. 1 Sensory evaluation standard of *L. japonicus*

描述 description	好 8~10 分 good 8-10 scores	较好 6~8 分 relatively good 6-8 scores	一般 4~6 分 normal 4-6 scores	较差 2~4 分 inferior 2-4 scores	差 0~2 分 bad 0-2 scores
色泽 color	色泽正常,肌肉切面富有光泽	色泽正常,肌肉切面有光泽	色泽稍暗淡,肌肉切面稍有光泽	色泽较暗淡,肌肉切面无光泽	色泽暗淡,肌肉切面无光泽
气味 flavor	固有香味浓郁	固有香味较浓郁	固有香味清淡,略带异味	固有香味消失,有腥臭味或氨臭味	有强烈腥臭味或氨味
组织形态 morphology	肌肉组织致密完整,纹理很清晰	肌肉组织致密完整,纹理很清晰	肌肉组织不紧密,但不松散	肌肉组织不紧密,局部松散	肌肉组织不紧密,松散
组织弹性 springiness	坚实富有弹性,手指压后凹陷立即消失	坚实有弹性,手指压后凹陷较快消失	较有弹性,手指压后凹陷消失较慢	稍有弹性,手指压后凹陷消失很慢	无弹性,手指压后凹陷不消失

各指标权重设置为:色泽 20%,气味 30%,组织形态 30%,组织弹性 20%。数据处理采用数学法统计,每一指标的平均分乘以其权重即为该指标分值,各指标之和为感官评定分。

质地剖面分析(TPA) 运用单轴向压缩和拉伸型质构仪(型号 TMS-PRO;美国 food technology corporation, USA),模拟口腔咀嚼肌

肉的穿透测定方法<sup>[16]</sup>,使用圆柱型探头(直径为 3.16 mm),进行两次压缩(穿刺),探头下行速度 1 mm/s,探头返回速度 1 mm/s,形变量 70%,样品重复测定 6 次。

图 1 为 TPA 实验的质地特征曲线。① 硬度:样品达到一定变形时所必须的力,其值为第一次穿冲样品时的压力峰值;② 弹性:变形样品在去

除变形力后恢复到变形前的条件下的高度或体积比率,用第二次穿冲的测量高度同第一次测量的高度的比值表示,即长度2/长度1;③粘聚性:表示样品内部粘合力,即将样品拉在一起的内聚力,在曲线上表现为两次压缩所做正功之比(面积2/面积1);④咀嚼性:数值上用胶着性(硬度×粘聚性)和弹性的乘积表示,即硬度×粘聚性×弹性<sup>[16-17]</sup>。

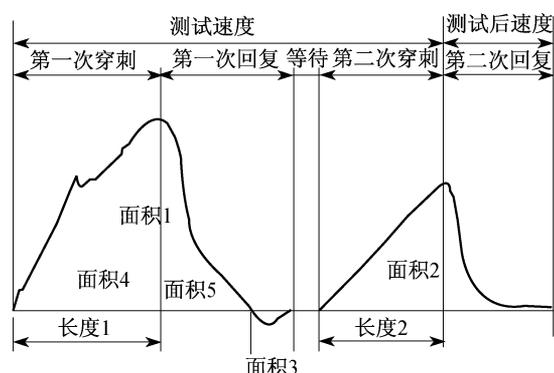


图1 质地剖面分析曲线

Fig.1 Curve of texture profile analysis

**应力松弛实验** 应力松弛实验使用和上述TPA实验相同的质构仪在室温下进行测量。本实验采用直径为3.16 mm的圆柱型探头,压缩速度为1 mm/s运动,样品变形量20%,样品重复测定次数为6次。应力松弛曲线采用逐次渐近法进行分析(图2)。

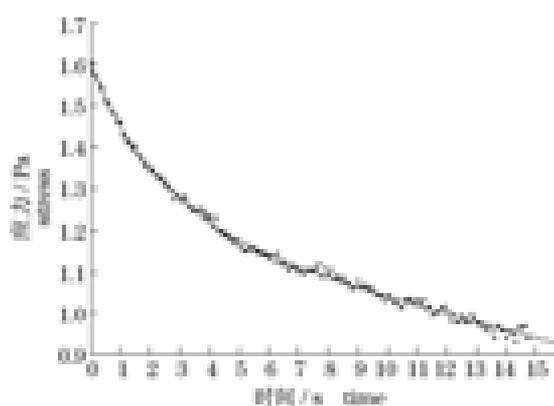


图2 鲈肌肉的应力松弛曲线

Fig.2 Stress-relaxation curve of *L. japonicus* meat

近似方程可以表示为  $P(t) = e_0 (\sum E_i e^{-t/\tau_i})$ , 其中,  $p(t)$  是应力松弛过程中的应力,  $e_0$  是形变量,  $t$  是时间,  $E_i$  是样品第  $i$  次解析的弹性模量 ( $E_0$

$= E_1 + E_2 + \dots + E_n$ , 总弹性模量),  $\tau_i$  是样品第  $i$  次的应力松弛时间 ( $\tau_i = \eta_i / E_i$ ,  $\eta_i$  是第  $i$  次解析的粘性模量)。用  $\text{Ln}p(t)$  对  $t$  作曲线, 对这条曲线作切线, 可以得出最大的应力松弛时间  $\tau_1$  和弹性模量  $E_1$ ,  $\eta_1$  是通过  $\tau_1$  和  $E_1$  计算出来的, 依次类推。计算出  $E_1$  和  $\tau_1$  之后, 用  $\text{Ln}[p(t) - e_0 E_1 e^{-t/\tau_1}]$  对  $t$  作第二条曲线, 然后用同样的方法求出相应  $E_2$ ,  $\tau_2$  和  $\eta_2$ <sup>[18]</sup>。本文应力松弛曲线进行到二次解析为止。

**破断实验** 使用的仪器与 TPA、应力松弛实验相同, 采用直径为 3.16 mm 的圆柱型探头进行测量。样品重复测定次数为 6 次。

**数据分析** 实验数据用 SPSS 11.5 统计软件包进行处理, 分析结果以平均值 ± 标准偏差 (mean ± SD) 表示, 在单因素方差分析的基础上, 采用 S-N-K 法检验组间差异 ( $P = 0.05$ )。

## 2 结果与讨论

### 2.1 基本成分的变化

鲈样品除水分外, 粗蛋白含量达到 22%, 脂肪与灰分含量较少, 说明鲈是一种高蛋白、低脂肪的优质水产品。在冷藏与微冻贮藏过程中灰分含量略有下降, 而水分、粗蛋白、脂肪的含量变化不显著, 因此在整个贮藏过程中鲈基本成分变化不大(表2)。

### 2.2 鲜度指标的变化

从图3中可以看出微冻和冷藏样品的细菌总数在整个贮藏期间均呈上升趋势, 微冻样品的增加速度明显低于冷藏样品。农产品安全质量—无公害水产品安全要求(GB 18406.4—2001)细菌总数应  $\leq 10^6$  个/g, 即  $\leq 6 \text{ Log CFU/g}$ , 则冷藏样品的安全期为 6 d [细菌总数为  $(5.93 \pm 0.05) \text{ Log CFU/g}$ ], 而微冻样品则为 26 d [细菌总数为  $(5.86 \pm 0.31) \text{ Log CFU/g}$ , 30 d 为  $(6.54 \pm 0.19) \text{ Log CFU/g}$ ], 有效延长了 20 d。微冻保鲜样品在贮藏初期(0~6 d)呈现稍许下降趋势, 这是由于微冻贮藏温度  $-3^\circ\text{C}$  处于最大冰晶生成温度带范围内, 微生物体液中水分结冰, 体积膨胀, 同时微生物也受到由于外部水分生成冰导致体积增大带来的挤压而使菌体破裂死亡<sup>[19]</sup>; 随后细菌总数的回升则是由于蛋白质、糖类、脂类逐渐降解成小分子物质, 一部分已适应不良环境的微生物利用小分子物质作为营养来源, 不断繁殖, 从而导致腐败变质。

表 2 鲈贮藏过程中基本成分变化  
Tab. 2 Changes of primary components of *L. japonicus* during storage

贮藏时间(d) storage time	水分(%) moisture	灰分(%) ash	粗蛋白(%) crude protein	脂肪(%) fat
鲜活样品 fresh sample	75.07 ± 0.32 <sup>a</sup>	1.62 ± 0.02 <sup>a</sup>	22.45 ± 0.66 <sup>a</sup>	1.16 ± 0.07 <sup>a</sup>
冷藏样品 refrigerated samples				
6	74.85 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.55 ± 0.09 <sup>ab</sup>	21.29 ± 0.31 <sup>a</sup>	1.18 ± 0.08 <sup>a</sup>
8	74.98 ± 0.47 <sup>a</sup>	1.65 ± 0.08 <sup>a</sup>	22.14 ± 0.02 <sup>a</sup>	1.15 ± 0.05 <sup>a</sup>
26	74.18 ± 0.40 <sup>a</sup>	1.38 ± 0.05 <sup>b</sup>	22.00 ± 0.50 <sup>a</sup>	1.07 ± 0.09 <sup>a</sup>
微冻样品 partial-frozen samples				
6	75.34 ± 0.29 <sup>a</sup>	1.35 ± 0.09 <sup>b</sup>	22.50 ± 0.08 <sup>a</sup>	1.02 ± 0.12 <sup>a</sup>
8	75.24 ± 0.80 <sup>a</sup>	1.55 ± 0.01 <sup>ab</sup>	21.78 ± 1.76 <sup>a</sup>	1.12 ± 0.02 <sup>a</sup>
26	75.32 ± 0.42 <sup>a</sup>	1.37 ± 0.07 <sup>b</sup>	22.38 ± 1.87 <sup>a</sup>	1.08 ± 0.07 <sup>a</sup>

注:表中同一列数据上不同上标字母代表有显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes: The different superscripts of the same column values are significantly different ( $P < 0.05$ ).

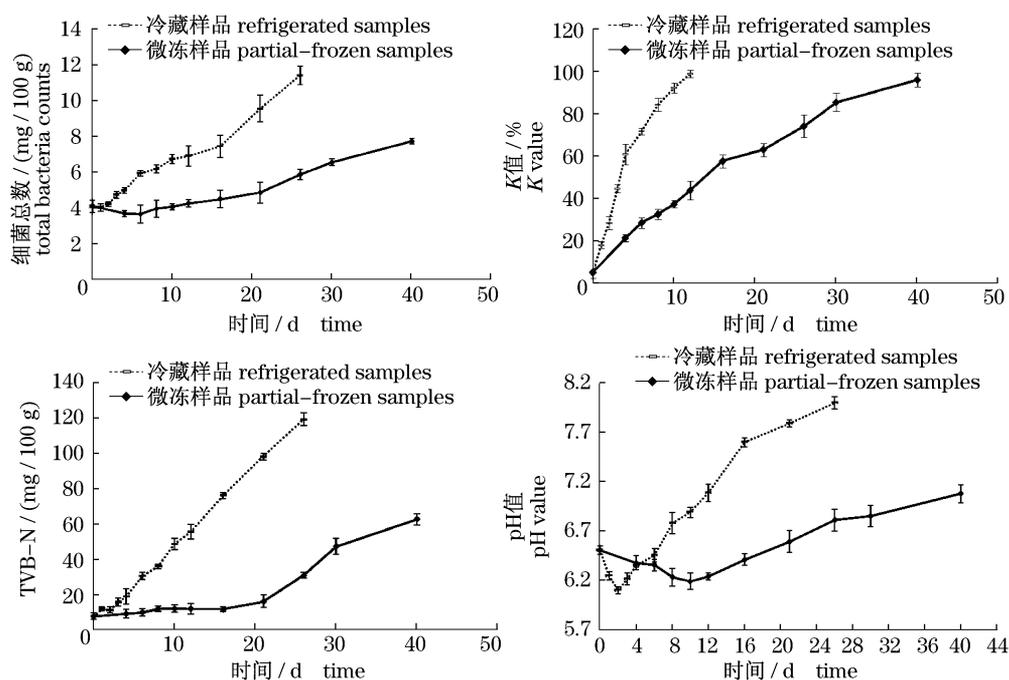


图 3 鲈在贮藏过程中细菌总数、K 值、TVB-N、pH 值的变化

Fig. 3 Changes of total bacteria counts, K value, TVB-N and pH value of *Lateolabrax japonicus* during storage

随着贮藏时间的延长,微冻和冷藏样品的  $K$  值呈上升趋势,贮藏前期  $K$  值的增加速度明显大于后期。一般而言,活杀鱼的  $K$  值低于 10%,以  $K$  值  $\leq 20\%$  作为优良鲜度指标,日本采用该鲜度的鱼制作生鱼片,以  $K$  值  $\leq 60\%$  作为加工原料的鲜度标准<sup>[20-21]</sup>。冷藏样品第 4 天(61%)已超出鲜度标准,而微冻样品则要到 21 d。若以  $K$  值来确定货架期,则冷藏样品为 4 d,微冻样品为 21 d,微冻样品比冷藏样品具有更好的保鲜效果。

TVB-N 随着贮藏时间的延长而增加,在贮藏初期,样品 TVB-N 上升缓慢,接近货架期终点时则快速上升。微冻样品 TVB-N 的变化比冷藏样

品要延缓很多,微冻样品在贮藏 21 d 后才开始明显增加,26 d 后才超过二级品的要求标准( $\leq 30$  mg/100 g),而冷藏样品第 6 天已超过该标准。这表明微冻条件能够更好的抑制鲈 TVB-N 的增加,且越到贮藏后期效果越明显。另外,TVB-N 与细菌总数的变化规律基本保持一致,说明 TVB-N 的增加与细菌总数的增加有着明显的相关性。

微冻和冷藏样品在贮藏过程中 pH 值均呈先降低后升高趋势,这是由于水产动物停止呼吸时,体内的糖原就开始分解,产生乳酸,导致肌肉 pH 值下降。随着鲜度的变化,蛋白质分解,呈碱性的产物不断增加,使肌肉的 pH 值又回升<sup>[22]</sup>。微冻

样品的变化速度明显比冷藏样品缓慢:冷藏样品 pH 最低点出现在第 2 天,而微冻样品在第 10 天,且贮藏后期维持较低的 pH 值,同样说明冷藏样品腐败变质的速度远超过微冻贮藏样品,微冻条件具有较好的保鲜效果。

### 2.3 组织构造的变化

鲈贮藏过程中组织构造观察结果如图 4 所示。鲜活状态下的鲈肌肉组织均匀,肌原纤维排列紧密。随着贮藏时间的延长,不管是冷藏还是微冻贮藏鲈样品均呈现肌原纤维间的空隙逐渐增

大,方向性增强,组织结构逐渐断裂崩解的趋势。对两种不同贮藏条件(冷藏和微冻贮藏)比较可以看出,与冷藏样品相比,微冻贮藏样品肌原纤维间的空隙增大趋势比较缓慢,方向性的变化也不明显;微冻贮藏 26 d 样品在肌原纤维间的空隙度、方向性、肌原纤维的紧凑度和结构断裂崩解方面均优于冷藏 21 d 样品,这说明微冻贮藏条件能够更加有效的抑制鱼肉蛋白质等有效成分的变性流失和组织构造的劣化,具有更好的保鲜效果。

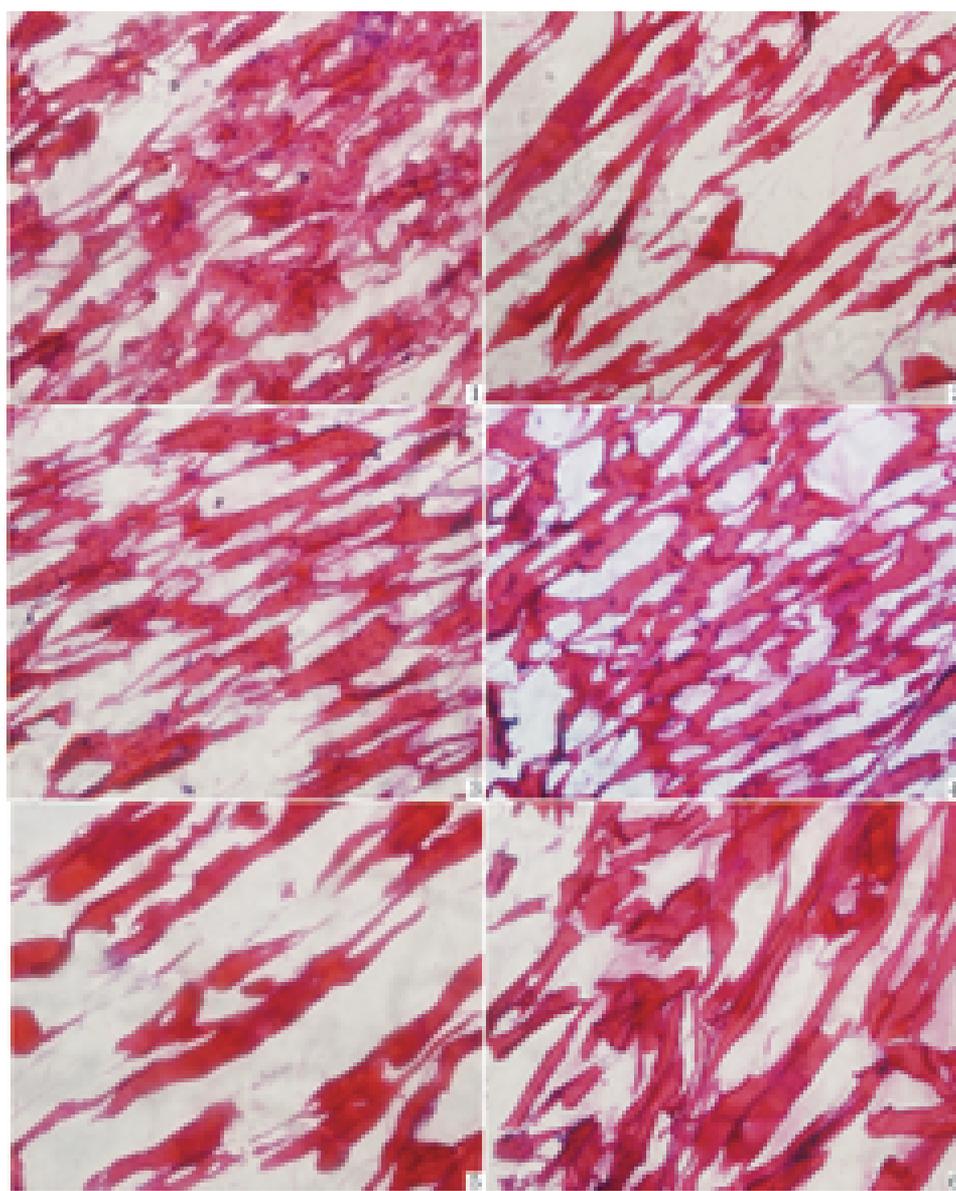


图 4 鲈贮藏过程中的光学显微镜照片

1. 鲜活样品; 2. 微冻 26 d; 3. 冷藏 6 d; 4. 微冻 6 d; 5. 冷藏 21 d; 6. 微冻 21 d。

Fig. 4 Light microscopy of *L. japonicus* during storage

1. fresh sample; 2. 26-day partial-frozen samples; 3. 6-day refrigerated samples; 4. 6-day partial-frozen samples; 5. 21-day refrigerated samples; 6. 21-day partial-frozen samples.

## 2.4 感官评定结果

整个贮藏过程中微冻样品和冷藏样品的感官评分均随贮藏时间的延长而逐渐降低(图5)。鲜活鲈色泽鲜明,肌肉组织紧密,纹理清晰,坚实有弹性,肌肉切面有光泽,具有浓郁的固有香味;随着贮藏时间的延长,鲈鱼肉色泽逐渐暗淡,肌肉逐渐松散,缺乏弹性,固有香味慢慢消失并出现明显异味。冷藏样品在贮藏后期变的干硬,并出现霉斑,可能是由于样品水分含量下降和微生物作用所致。从图5中还可以看出微冻样品感官评分的下降速度明显比冷藏样品缓慢,说明微冻贮藏条件比冷藏条件能更有效的延缓鲈感官品质的下降。

## 2.5 质地剖面分析(TPA)

贮藏过程中鲈样品硬度、弹性、粘聚性和咀嚼性等指标均呈现减小的趋势(图6),这说明贮藏过程中肌原纤维间的空隙增大,蛋白质发生了变性,肌肉细胞间结合力下降,口感质量降低。比较两种不同贮藏条件的样品不难发现,除硬度指标

保持基本相同的趋势外,微冻样品的弹性、粘聚性和咀嚼性三指标下降程度和幅度均远小于冷藏样品,表明冷藏条件下样品肌原纤维破坏程度比微冻样品更加严重,其肌原纤维密度低于微冻样品,这与微观组织构造观察结果相吻合。说明微冻贮藏条件比冷藏条件更有利于鲈原有品质和风味的保持,具有较好的保鲜效果。

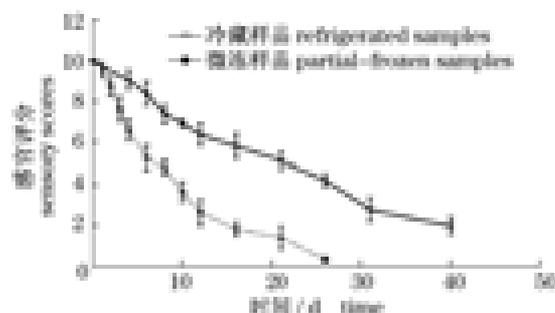


图5 鲈贮藏过程中的感官评分

Fig. 5 Sensory evaluation of *L. japonicus* during storage

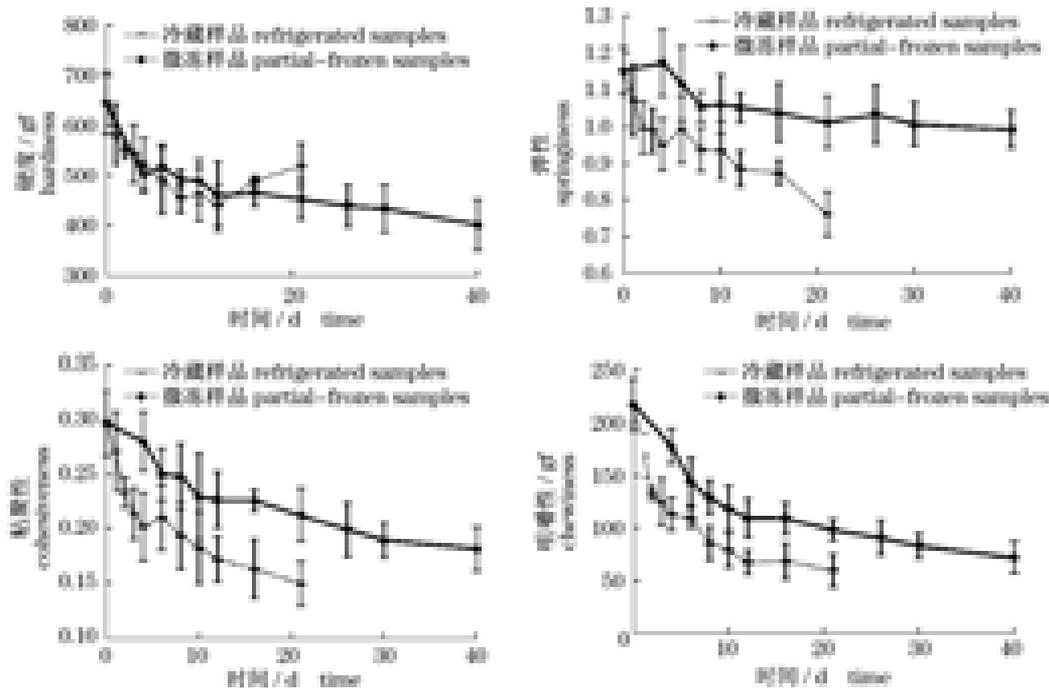


图6 鲈贮藏过程中硬度、弹性、粘聚性、咀嚼性的变化

Fig. 6 Changes of hardness, springiness, cohesiveness and chewiness of *L. japonicus* during storage

## 2.6 流变特性参数的变化

鲜活及不同贮藏(冷藏、微冻贮藏)条件下鲈样品的流变学参数如表3所示。从表中可以看出,鲈样品的流变学特征参数(弹性模量 $E_0$ ,应力松弛时间 $\tau_1$ ,粘性模量 $\eta_1$ ,破断强度)随着贮藏时

间的延长均发生变化,冷藏和微冻样品的弹性模量 $E_0$ 、粘性模量 $\eta_1$ 大于鲜活样品,而应力松弛时间 $\tau_1$ 和破断强度却小于鲜活样品。随着贮藏时间的延长,不管是冷藏还是微冻贮藏鲈样品破断强度呈逐渐减小的趋势,弹性模量 $E_0$ 呈增大趋

势,而应力松弛时间  $\tau_1$ 、粘性模量  $\eta_1$  变化规律则不显著,这可能与鱼肉复杂的内部结构机制有关。与冷藏样品相比,微冻样品的各流变学特性参数 ( $E_0, \tau_1, \eta_1$ , 破断强度) 的变化趋势基本相同,但变

化速率要小很多,更有效地延长了样品的保质期。这可能是与微冻贮藏条件下能较好地抑制鱼肉蛋白质变性和组织构造的崩解破坏相关。

表3 鲈贮藏过程中流变学特性参数变化  
Tab.3 Rheological properties of *L. japonicus* during storage

贮藏时间(d) storage time	$E_0$ ( $\times 10^5$ Pa)	$E_1$ ( $\times 10^5$ Pa)	$E_2$ ( $\times 10^5$ Pa)	$\tau_1$ (s)	$\tau_2$ (s)	$\eta_1$ ( $\times 10^7$ Pa·s)	$\eta_2$ ( $\times 10^5$ Pa·s)	破断强度(gf) rupture strength
鲜活样品 fresh sample								
	2.61 ± 0.35 <sup>a</sup>	2.30 ± 0.35 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.01 <sup>a</sup>	77.58 ± 14.43 <sup>a</sup>	0.77 ± 0.13 <sup>a</sup>	1.75 ± 0.20 <sup>ab</sup>	0.23 ± 0.04 <sup>a</sup>	753.80 ± 61.30 <sup>a</sup>
冷藏样品 refrigerated samples								
4	5.11 ± 1.17 <sup>bc</sup>	3.91 ± 0.97 <sup>abc</sup>	1.20 ± 0.23 <sup>bc</sup>	64.04 ± 17.88 <sup>ab</sup>	2.26 ± 0.54 <sup>ab</sup>	2.48 ± 0.85 <sup>ab</sup>	2.77 ± 1.06 <sup>abc</sup>	567.75 ± 67.72 <sup>b</sup>
8	6.44 ± 1.08 <sup>cd</sup>	4.68 ± 1.07 <sup>bcd</sup>	1.76 ± 0.33 <sup>cd</sup>	45.47 ± 4.33 <sup>ab</sup>	1.72 ± 0.27 <sup>ab</sup>	2.10 ± 0.32 <sup>ab</sup>	3.07 ± 0.89 <sup>abc</sup>	550.21 ± 45.39 <sup>bc</sup>
12	8.21 ± 0.63 <sup>d</sup>	5.91 ± 0.39 <sup>cd</sup>	2.31 ± 0.46 <sup>c</sup>	49.07 ± 15.17 <sup>ab</sup>	2.62 ± 1.05 <sup>b</sup>	2.90 ± 0.95 <sup>ab</sup>	6.35 ± 2.41 <sup>c</sup>	549.87 ± 14.34 <sup>bc</sup>
16	7.63 ± 0.16 <sup>d</sup>	5.93 ± 0.45 <sup>cd</sup>	1.69 ± 0.62 <sup>cd</sup>	50.07 ± 7.81 <sup>ab</sup>	1.83 ± 0.20 <sup>ab</sup>	2.99 ± 0.69 <sup>ab</sup>	3.17 ± 1.47 <sup>abc</sup>	420.86 ± 68.47 <sup>de</sup>
21	7.19 ± 0.80 <sup>cd</sup>	5.95 ± 0.61 <sup>cd</sup>	1.24 ± 0.29 <sup>bc</sup>	40.48 ± 7.19 <sup>b</sup>	1.47 ± 0.46 <sup>ab</sup>	2.44 ± 0.63 <sup>ab</sup>	1.91 ± 1.06 <sup>ab</sup>	354.94 ± 26.08 <sup>e</sup>
微冻样品 partial-frozen samples								
4	4.04 ± 0.54 <sup>b</sup>	3.15 ± 0.42 <sup>ab</sup>	0.89 ± 0.20 <sup>b</sup>	53.67 ± 19.32 <sup>ab</sup>	1.81 ± 0.66 <sup>ab</sup>	1.66 ± 0.51 <sup>a</sup>	1.64 ± 0.77 <sup>ab</sup>	487.75 ± 56.46 <sup>bcd</sup>
8	5.98 ± 1.05 <sup>cd</sup>	4.40 ± 1.45 <sup>bcd</sup>	1.57 ± 0.66 <sup>cd</sup>	50.11 ± 29.80 <sup>ab</sup>	2.43 ± 1.38 <sup>ab</sup>	2.00 ± 0.89 <sup>ab</sup>	4.47 ± 2.21 <sup>bc</sup>	547.05 ± 41.50 <sup>bc</sup>
12	6.57 ± 1.45 <sup>cd</sup>	4.57 ± 1.55 <sup>bcd</sup>	2.00 ± 0.15 <sup>de</sup>	40.25 ± 5.53 <sup>b</sup>	2.22 ± 0.56 <sup>ab</sup>	1.79 ± 0.39 <sup>ab</sup>	4.49 ± 1.39 <sup>bc</sup>	536.70 ± 54.05 <sup>bc</sup>
16	6.94 ± 0.87 <sup>cd</sup>	5.63 ± 0.83 <sup>cd</sup>	1.31 ± 0.24 <sup>bc</sup>	51.57 ± 13.67 <sup>ab</sup>	1.71 ± 0.43 <sup>ab</sup>	2.87 ± 0.69 <sup>ab</sup>	2.27 ± 0.79 <sup>ab</sup>	457.43 ± 30.01 <sup>cde</sup>
21	7.39 ± 1.53 <sup>d</sup>	5.66 ± 1.42 <sup>cd</sup>	1.72 ± 0.37 <sup>cd</sup>	45.10 ± 12.72 <sup>ab</sup>	2.21 ± 1.16 <sup>ab</sup>	2.57 ± 0.99 <sup>ab</sup>	4.03 ± 2.86 <sup>abc</sup>	455.67 ± 26.83 <sup>cde</sup>
26	7.79 ± 1.06 <sup>d</sup>	6.46 ± 0.93 <sup>d</sup>	1.34 ± 0.20 <sup>bc</sup>	52.82 ± 5.41 <sup>ab</sup>	1.91 ± 0.24 <sup>ab</sup>	3.41 ± 0.63 <sup>b</sup>	2.58 ± 0.65 <sup>abc</sup>	444.57 ± 44.44 <sup>cde</sup>
30	7.57 ± 0.83 <sup>d</sup>	5.96 ± 0.74 <sup>cd</sup>	1.60 ± 0.25 <sup>cd</sup>	50.35 ± 8.23 <sup>ab</sup>	2.13 ± 0.66 <sup>ab</sup>	2.98 ± 0.44 <sup>ab</sup>	3.52 ± 1.45 <sup>abc</sup>	418.09 ± 43.71 <sup>de</sup>
40	6.03 ± 1.69 <sup>cd</sup>	4.75 ± 1.37 <sup>bcd</sup>	1.28 ± 0.32 <sup>bc</sup>	53.45 ± 22.82 <sup>ab</sup>	1.65 ± 0.53 <sup>ab</sup>	2.70 ± 0.15 <sup>ab</sup>	2.18 ± 0.95 <sup>ab</sup>	394.98 ± 57.72 <sup>de</sup>

注:表中同一列数据上不同上标字母代表有显著差异( $P < 0.05$ )。

Notes: The different superscripts of the same column values are significantly different ( $P < 0.05$ ).

一般而言,破断强度与硬度存在对应关系,弹性模量与肌肉中的弹性成分有关,弹性模量大,弹力小;弹性模量小,弹力大;而应力松弛时间表示内部结构恢复变形的快慢,应力松弛时间和肌原纤维蛋白分子间的粘结力密切相关,应力松弛时间越长,肌原纤维蛋白分子间粘结力越大,互相滑动所需的时间越长<sup>[23]</sup>。应力松弛时间与肌肉中的粘性成分、粘结性具有正比关系,和黏着性相对应<sup>[24-25]</sup>。从流变学各特征参数的变化来看,与鲜活样品相比,贮藏样品相对具有弹性较小、硬度较小,粘结性较小的特点,这与 TPA 分析结果相一致。微冻样品的变化速度明显比冷藏样品缓慢,保鲜效果优于冷藏样品,更有利于样品保持原有品质。

### 3 总结

综合以上结果,鲈样品不管是在冷藏还是微冻贮藏条件下其基本成分基本保持不变,而菌落总数、K 值和 TVB-N 均呈上升趋势,pH 值则先下

降后上升,且上升速度随温度的升高而加快;随着贮藏时间的延长,样品组织结构变化较明显,肌肉肌原纤维间的空隙逐渐增大,方向性增强,组织结构逐渐断裂崩解;弹性模量呈上升趋势,破断强度和质构参数(硬度、弹性、粘聚性、咀嚼性)均呈下降趋势,而应力松弛时间、粘性模量变化则不显著。流变学特征参数表明贮藏样品具有弹性较小、硬度较小、粘结性较小的特点。

与冷藏样品相比,微冻鲈样品在细菌总数、K 值、TVB-N 值、组织结构、感官评定指标、质构参数(硬度、弹性、粘聚性、咀嚼性)及流变学特征参数(弹性模量、粘性模量、松弛时间、破断强度)等方面变化速度明显延缓,货架期能够延长 20 d 左右,说明微冻贮藏比冷藏条件能更有效的抑制鲈体内酶活性及微生物作用,缓解蛋白质的分解,具有较好的保鲜效果。

### 参考文献:

[1] 成器. 有作为的水产养殖名优品种鲈[J]. 渔业致

- 富指南,2004,12:32.
- [ 2 ] 范红. 鲈水档案[J]. 饮食科学,2006,11:28.
- [ 3 ] 曾名勇,黄海. 鲈在微冻保鲜过程中的质量变化[J]. 中国水产科学,2001,8(4):67-69.
- [ 4 ] 王远红,吕志华. 不同海域中国花鲈营养成分的比较研究[J]. 青岛海洋大学学报,2003,33(4):531-536.
- [ 5 ] 曹桂新,姜正炎. 梭鲈含肉率及营养成分分析[J]. 水利渔业,2000,20(6):3-4.
- [ 6 ] 陈佳毅,叶元土. 梭鲈、河鲈和加州鲈的肌肉营养成分分析[J]. 饲料研究,2007(9):52-54.
- [ 7 ] 毕庶万,于炳礼. 鲈的渔业生物学和增殖养殖技术[J]. 齐鲁渔业,1995,12(4):17-19.
- [ 8 ] 郑春波,王华东. 松江鲈池塘养殖技术[J]. 齐鲁渔业,2004,21(3):27.
- [ 9 ] Ji X S. Cryopreservation of sea perch (*Lateolabrax japonicus*) spermatozoa and feasibility for production-scale fertilization[J]. Aquaculture,2004,517-528.
- [ 10 ] 叶盛权. 冰藏贮存中鲈鲜度的化学指标分析[J]. 食品研究与开发,2003,24(2):111-112.
- [ 11 ] 林维宣,纪淑娟,马岩松,等. 食品分析[M]. 北京:轻工业出版社,1989.
- [ 12 ] 赵洪根,黄慕让. 水产食品检验[M]. 天津:天津科学技术出版社,1987:174-176.
- [ 13 ] Yokoyama Y, Sakaguchi M, Kawai F, et al. Changes in Concentration of ATP-related compounds in various tissues of oyster during ice storage[J]. Bull Jap Sci Soc Fish,1992,58(11):2125-2136.
- [ 14 ] 宋智,孟凤英. 鲤保鲜技术的研究[J]. 食品科学,1995,16(6):45-48.
- [ 15 ] 杨文鸽. 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):218.
- [ 16 ] 楚炎沛. 物性测试仪在食品品质评价中的应用研究[J]. 粮油与饲料工业,2003,7(6):40-43.
- [ 17 ] 孙彩玲. TPA 质构分析模式在食品研究中的应用[J]. 实验科学与技术,2007,5(2):2.
- [ 18 ] 李里特. 食品物性学[M]. 北京:中国农业出版社,1998.
- [ 19 ] Cobb B F. Effect of ice storage on microbiological changes in fish and melting ice in a model system[J]. Food Sci,1976,41(1):29-32.
- [ 20 ] Ehira S, Uchiyama H. Determination of fish freshness using the K value and comments on some other biochemical changes in relation to freshness [C] // Seafood Quality Determination. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B V,1987:185-207.
- [ 21 ] 小関聡美,北上誠一,加藤登,等. 魚介類の死後硬直と鮮度(K 値)の変化[J]. 東海大学紀要海洋学部,2006,4(2):31-46.
- [ 22 ] 鸿巢章二,桥本周久. 水产利用化学[M]. 北京:中国农业出版社,1994:133-136.
- [ 23 ] Matumoto S, Yamano S. The rheological of food [M] // Watanabe S (ed.). The Tenderness of Chicken Meat. Food Material Research Institute Press, Tokyo. 1987:13-15.
- [ 24 ] Henry W F, Katz H, Pilgrim F J. Texture of semi-solid food-sensory and physical correlates[J]. J Food Sci,1978,36:155-168.
- [ 25 ] Lee C, Imoto E M, Rha C. Evaluation of cheese texture[J]. J Food Sci,1978,43:1600-1605.

## Freshness and texture changes of *Lateolabrax japonicus* meat during partially frozen storage

GAO Xin<sup>\*</sup>, HAN Fang, XU Jia-chao, FU Xiao-ting, LI Hui, YU Tian  
(College of Food Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

**Abstract:** The quality and texture changes of *Lateolabrax japonicus* meat during partially frozen storage were studied. Tissue structures, texture profile analysis and changes of rheological properties (elastic modulus  $E_0$ , stress-relaxation time  $\tau_1$ , viscosity  $\eta_1$ , rupture strength), combined with the total number of bacteria, K value, TVB-N, pH value and sensory scores were determined. The results suggested that the total number of bacteria, K value and TVB-N increased with the extension of storage time, while pH value decreased and then increased. The increasing speed increased with temperature. As the storage time extended, the pores of the myofibril increased, the tissue structure deteriorated, elastic modulus  $E_0$  increased, and rupture strength, hardness, springiness, cohesiveness and chewiness decreased, while viscosity  $\eta_1$  and stress-relaxation time  $\tau_1$  have no significant changes. Compared with that of the refrigerated samples, the shelf-life of partially frozen storage samples could be extended for 20 days. It showed partial freezing could effectively inhibit the activity of enzymes in the meat of *Lateolabrax japonicus* and the effect of micro-organisms, so that it could alleviate the decomposition of protein. As a result, partial freezing storage is an effective method to extend the storage time of *Lateolabrax japonicus*.

**Key words:** *Lateolabrax japonicus*; freshness; tissue structure; rheological properties; texture profile analysis

**Corresponding author:** GAO Xin. E-mail: xingao@ouc.edu.cn