

淡干虾皮在4℃及25℃贮藏条件下的品质变化

邱绪建^{1,2}, 陈申如^{1,2}, 郝更新^{1,2}, 杨 桑^{1,2}, 孙乐常^{1,2}, 刘翼翔^{1,2}

(1. 集美大学食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省海洋功能食品工程技术研究中心, 福建 厦门 361021)

[摘要] 对淡干虾皮在4℃和25℃贮藏条件下的品质变化进行了研究。在4℃条件下, 贮藏30 d时, 挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)、菌落总数(total plate count, TPC)和三甲胺氮(trimethylamine nitrogen, TMA-N)分别达到0.824 mg/g、9.40 log CFU/g和0.054 mg/g; 在25℃贮藏条件下, 贮藏3 d时TVB-N、TPC、TMA-N分别达到0.293 mg/g、7.24 log CFU/g和0.045 mg/g。硫代巴比妥酸反应物质(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)和样品的 b^* 值在贮藏期间显著增加。低温贮藏可大幅延缓淡干虾皮的变质过程。淡干虾皮在贮藏过程中的所有品质指标的变化与贮藏时间都呈显著相关。

[关键词] 淡干虾皮; 保鲜; 品质变化; 贮藏

[中图分类号] TS 201.6

Quality Changes of Dry Unsalted Shrimp(*Acetes chinensis*) Stored at 4℃ and 25℃

QIU Xujian^{1,2}, CHEN Shenru^{1,2}, HAO Gengxin^{1,2}, YANG Shen^{1,2}, SUN Lechang^{1,2}, LIU Yixiang^{1,2}

(1. College of Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Fujian Provincial Engineering Technology Research Center of Marine Functional Food, Xiamen 361021, China)

Abstract: The quality changes and shelf life of dry unsalted shrimp (*Acetes chinensis*) stored at 4℃ and 25℃ were studied. At 4℃, the total volatile basic nitrogen(TVB-N) level, total plate count (TPC) and trimethylamine nitrogen (TMA-N) reached 0.824 mg/g, 9.40 log CFU/g and 0.054 mg/g respectively on day 30, while it was 0.293 mg/g, 7.24 log CFU/g and 0.045 mg/g respectively on day 3 at 25℃. Thiobarbituric acid reactive substances and b^* values of samples increased significantly during storage. Low temperature can retard the product deterioration process. All the quality parameters had significantly correlations with storage time at both temperatures. TVB-N, TMA-N, and TPC could indicate quality changes of this product during storage, while b^* analysis could be an alternative, simple and rapid method.

Keywords: dry unsalted shrimp; preservation; quality deterioration; storage

0 引言

虾皮是由中国毛虾(*Acetes chinensis*)干制而成,是我国沿海地区传统特产,产量占全世界总产量的95%以上^[1]。传统加工工艺是采用高浓度盐水蒸煮毛虾,然后进行晒干或烘干以脱除水分,从而达到长期贮藏的目的。这类产品中盐含量相对高,水分含量较低,因而其产品稳定,并具有较长的保

[收稿日期] 2017-12-20

[修回日期] 2018-01-24

[基金项目] 福建省自然科学基金项目(2016J01708)

[作者简介] 邱绪建(1974—),男,副教授,博士,从事海洋食品品质与安全方向研究, E-mail: xjqiu@jmu.edu.cn。

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

质期^[2]。然而,当虾在高浓度盐水加热过程中会失去较多营养风味物质,因此加工的虾产品往往干硬,缺乏鲜虾的特征鲜味^[3]。

随着人们健康意识的增强,未添加食盐的淡干虾皮产品越来越受到消费者的青睐。这种淡干虾皮是由新鲜的生毛虾在热水中轻度加热并适度干燥而制成具有高水分低盐分的新产品。淡干虾皮产品含盐量较低,味道鲜美,外观较好,但是保质期相对较短。淡干虾皮若需长期保藏,必须冷冻以防止变质,这无疑增加了运输和贮藏成本,因而不利于在市场流通和销售。淡干虾皮在流通中或食用前往往在室温下或冷藏条件下短暂贮藏,由此带来了品质的显著变化。淡干虾皮在 4 ℃ 和 25 ℃ 条件下的品质变化尚未有学者研究。因此,本实验研究淡干虾皮在 4 ℃ 和 25 ℃ 条件下贮藏期间化学、微生物和感官品质变化,为该产品贮藏流通中的品质管理提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

实验所用淡干虾皮购自福建宁德(加工后冷冻贮藏一周内)。该产品 TVB-N 为 0.12 mg/g,细菌总数为 3.1 log CFU/g,鲜度良好。1,1,3,3-四甲氧基丙烷(tetramethoxy propane, TMP)、没食子酸丙酯购自北京索莱宝科技有限公司;硫代巴比妥酸(thiobarbituric acid, TBA)购自国药集团化学试剂有限公司;平板计数培养基购自广东环凯微生物科技有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

UV-5200 型紫外可见分光光度计(上海元析仪器有限公司);PB-10 酸度计(德国 Sartorius 公司);YXQ-LS-50S II 全自动立式压力蒸汽灭菌器(上海博迅实业有限公司);LXJ-IIB 型离心机(上海安亭科学仪器厂);AR1530 电子天平(上海梅特勒-托利多仪器有限公司);恒温水浴锅(上海精宏实验设备有限公司);WSC-S 色差计(上海仪电物理光学仪器有限公司)。

1.2 实验方法

1.2.1 淡干虾皮贮藏

淡干虾皮分装于聚乙烯塑料袋内并置于 4 ℃ 冰箱和 25 ℃ 培养箱内分别贮藏。冰箱内样品于 0, 10, 20, 30, 40 d 取样分析。培养箱内样品于 0, 1, 2, 3, 4, 5 d 取样分析。实验重复 3 次,取平均值。

1.2.2 淡干虾皮贮藏期间理化、感官评价及微生物指标测定方法

1.2.2.1 水分和盐分分析

水分和盐分含量分别按 GB 5009.3—2010 及 SC/T 3011—2001 方法测定。

1.2.2.2 pH 值分析

取 5 g 淡干虾皮经过绞肉机绞碎,然后与 45 mL 蒸馏水搅拌混合,用 pH 计测定其数值。测量前 pH 计用 pH=4 和 pH=7 两种缓冲溶液校正。

1.2.2.3 TVB-N 测定

按照 GB/T 5009.44—2003 方法测定。

1.2.2.4 TMA-N 的测定

按照 AOAC^[4]方法测定,略作修改。取 5 g 绞碎样品加入 20 mL 质量分数 7.5% 三氯乙酸充分混合均匀。混合溶液在 4 000 r/min 下离心 4 min。取上清液 4 mL 与 1 mL 质量分数 20% 甲醛、10 mL 甲苯和 3 mL 质量分数 50% 的碳酸钾混合于 25 mL 比色管中。将混合物剧烈震荡搅拌,静置后取上层溶液,加入含无水硫酸钠的试管中并充分混合。取 5 mL 溶液加入到 5 mL 苦味酸溶液并轻轻混匀后在 410 nm 测定吸光度值。以不同含量的盐酸三甲胺溶液按相同操作方法作标准曲线来定量计算样品中 TMA-N 含量。以蒸馏水代替样品溶液作为空白对照。

1.2.2.5 TBARS 的测定

按照 Bedinghaus 等^[5]的方法略作改动。取 5.0 g 绞碎淡干虾皮样品加入含质量分数 20% 三氯乙酸、1.6% 的磷酸溶液 50 mL 及 0.5% 没食子酸丙酯溶液(含质量分数 0.5% EDTA) 2.5 mL 混合均

匀后,然后与50 mL蒸馏水混合1 min。混合物过滤后,取5 mL的滤液加入5 mL 0.02 mol/L TBA溶液混合,在沸水浴中加热35 min后冷却,并在4 000 r/min离心3 min。上清液于532 nm处测吸光度值。以不含样品溶液的空白试剂作对照,以TMP用来制作标准曲线定量分析。

1.2.2.6 菌落总数

按照GB 4789.2—2010方法进行分析。

1.2.2.7 色差分析

每个样品用色差分析仪测量 L^* 、 a^* 和 b^* 值。色差仪用标准黑板和标准白板校正。

1.2.2.8 感官分析

感官分析参考Lu等人^[6]的方法进行。颜色从白色发亮到发黄变暗,气味从清新到腐败氨味,滋味从鲜虾味到腐败采用5分制打分,3分及以上为不可接受。感官分析由6个评价员打分,取其平均值。

1.3 数据分析

采用SPSS分析软件分析数据。结果以平均值±标准偏差(mean±SD)表示,采用方差分析进行比较, $P<0.05$ 为差异显著。对品质指标与贮藏时间的关系进行相关性分析,计算Pearson相关系数。

2 结果与分析

2.1 淡干虾皮水分和盐分含量

实验淡干虾皮样品水分和盐分质量分数分别为 $(44.90\pm1.48)\%$ 和 $(3.52\pm0.39)\%$ 。通常普通虾皮水分和盐分质量分数分别约为25%和13%。淡干虾皮含水量较高,盐分较低,这是导致其品质易腐的主要原因。

2.2 贮藏期间淡干虾皮pH值变化

淡干虾皮pH值在贮藏期间呈上升趋势(见表1)。淡干虾皮在25℃贮藏1 d后,pH值显著增加,5 d后缓慢升高到8.49。在4℃贮藏条件下,样品在40 d贮藏期间逐渐升高到8.63,而样品初始pH值约为8.20,较新鲜虾pH值偏高。Zeng等^[7]报道,新鲜虾(*Pandalus boreali*)pH值在1.5℃贮藏6 d后从7.41升高到8.26。新鲜毛虾经过蒸煮和干制工艺加工,可能会导致相对偏高的初始pH值。贮藏期间由于微生物的繁殖代谢而分解蛋白质及其他含氮类物质而产生碱性物质,导致pH值逐渐升高,这在其他水产品贮藏中也较常见^[8-9]。

表1 淡干虾皮在4℃和25℃贮藏条件下pH值、TVB-N和TMA-N的变化
Tab.1 The changes of pH,TVB-N and TMA-N of dry unsalted shrimp(*Acetes chinensis*) during storage at 4℃ and 25℃

温度 Temperature/℃	贮藏时间 Storage time/d	pH	TVB-N/mg·g ⁻¹	TMA-N/mg·g ⁻¹
4	0	8.17±0.03 ^a	0.122±0.003 ^a	0.025±0.001 ^a
	10	8.29±0.05 ^b	0.149±0.008 ^a	0.030±0.002 ^b
	20	8.45±0.07 ^c	0.282±0.017 ^b	0.043±0.002 ^c
	30	8.50±0.02 ^c	0.824±0.032 ^c	0.054±0.001 ^d
	40	8.63±0.04 ^d	1.184±0.014 ^d	0.062±0.001 ^e
25	0	8.22±0.09 ^a	0.146±0.002 ^a	0.026±0.001 ^a
	1	8.40±0.02 ^b	0.194±0.008 ^b	0.032±0.001 ^b
	2	8.41±0.03 ^b	0.242±0.002 ^c	0.040±0.001 ^c
	3	8.45±0.07 ^b	0.293±0.008 ^d	0.045±0.002 ^d
	4	8.41±0.05 ^b	0.453±0.009 ^e	0.052±0.006 ^e
	5	8.49±0.03 ^b	0.987±0.013 ^f	0.061±0.002 ^f

说明:同列数值旁字母不同时表示有显著差异($P<0.05$)
Notes: means within the same column followed by different letters are significantly different ($P<0.05$)

2.3 贮藏期间淡干虾皮 TVB-N 变化分析

TVB-N 是一个常用的水产品质量指标。大多数水产品中 TVB-N 含量 $0.30 \sim 0.35 \text{ mg/g}$ 被认为是水产品腐败的临界值^[10]。从表 1 可以看出, 淡干虾皮 TVB-N 含量在 4°C 和 25°C 贮藏温度条件下都显著升高, 但在 25°C 条件下升高更为明显。 25°C 贮藏 3 d 时样品的 TVB-N 值已经达到 0.2929 mg/g , 而在 4°C 条件下贮藏 20 d 仅增加到 0.2822 mg/g 。所有样品在贮藏期间, TVB-N 逐渐增加并且在贮藏末期积聚产生了大量可挥发性氨类物质, 说明产品易腐败变质, 特别是在较高温度贮藏条件下变质更快。TVB-N 增加通常由细菌性腐败而导致, 本实验样品细菌总数在贮藏期间也显著上升, 而且在温度较高条件下上升更为明显。低温对于保持产品质量及延长保质期是非常重要的因素。

2.4 贮藏期间淡干虾皮 TMA-N 变化

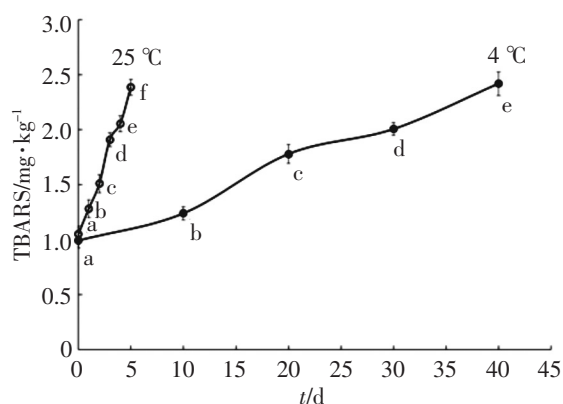
TMA-N 是评价水产品质量的另一个重要指标。据报道, 鱼类产品 TMA-N 限值约为 0.05 mg/g ^[11]。其他一些研究人员发现, TMA-N 达到 $0.10 \sim 0.15 \text{ mg/g}$ 时感官评价不被接受^[12]。不同水产品种类和 TMA-N 的不同分析方法都可能会导致不同的腐败临界值。本实验中, TMA-N 的变化趋势 (见表 1) 与 TVB-N 类似, 这也与其他水产品贮藏中二者的变化趋势一致^[11,13]。TMA-N 在 25°C 条件下增加更快、更明显 (见表 1)。淡干虾皮样品在 25°C 及 4°C 贮藏温度条件下, 分别在第 4 d 和第 30 d 超过 0.05 mg/g 。TMA 是氧化三甲胺 (Trimethylamine oxide, TMAO) 经由微生物分解而产生。许多腐败微生物如希瓦氏菌能够分泌氧化三甲胺还原酶从而还原 TMAO 生成 TMA^[14]。然而, 一些腐败菌假单胞菌则不能产生酶类使 TMAO 还原^[15]。因此, 淡干虾皮贮藏期间的微生物菌群种类影响着 TMA 的产生。微生物菌群受加工工艺及贮藏条件的影响而改变, 进一步研究微生物尤其是特定腐败菌的变化情况有助于了解其腐败机制。

2.5 淡干虾皮贮藏期间 TBARS 变化

TBARS 是食品的脂质氧化情况常用的质量评价指标。TBARS 主要指示多不饱和脂肪酸氧化后的过氧化物分解的二级产物生成的量^[16]。这些二级氧化产物很多都是有异味, 从而导致产品感官品质下降。淡干虾皮在 25°C 及 4°C 贮藏条件下, TBARS 随贮藏时间延长都有显著增加, 在贮藏末期丙二醛质量含量分别达到 $2.32, 2.49 \text{ mg/kg}$ ($P < 0.05$)。TBARS 在 25°C 条件下增幅更为明显 (见图 1)。这表明淡干虾皮在贮藏期间发生了明显的脂质氧化反应。有研究表明, 普通虾皮在 37°C 贮藏 28 d 后 TBARS 丙二醛质量含量为 2.19 mg/kg ^[6]。许多研究人员发现很难给 TBARS 设定一个限值, 因为丙二醛可与各种化合物如醛、氨基、核酸或蛋白质等反应^[17]。食物中的脂质氧化是一个复杂的反应, TBARS 值可能会达到一个峰值然后下降。此外, 产品生产加工过程中的变量如温度、时间等也可影响该产品的初始 TBARS 值。因此, TBARS 可作为脂质氧化的一个参考指标, 但不能用来设定绝对数值来区分产品质量等级。

2.6 淡干虾皮贮藏期间菌落总数变化

淡干虾皮初始菌落总数为 $3.1 \log \text{ CFU/g}$, 与普通虾皮初始菌落总数相当^[6]。在贮藏期间, 淡干虾皮在 4°C 和 25°C 日均增加平均值分别为 $0.17, 1.26 \log \text{ CFU/g}$ (见图 2)。 4°C 可以降低细菌的生长繁殖速度, 但并不能完全抑制其增长, 这可能与较低的盐分含量和较高的水分含量有关。淡干虾皮变质的一个主要原因是由腐败细菌繁殖代谢蛋白质、氧化 TMA 等导致 TVB-N、TMA-N 含量显著增加。熟虾 (*Penaeus* spp.) 在 4°C 贮藏时, 菌落总数超过 $7 \sim 8 \log \text{ CFU/g}$ 被认为是腐败的开始阶段^[18]。南美白对虾在新鲜冰藏保鲜时菌落总数达到约 $8 \log \text{ CFU/g}$ 时为感官评价不可接受的临界值^[13]。淡干虾皮菌落总数腐败临界值鲜有研究报道。本实验样品在 4°C 条件下贮藏 30 d, 25°C 条件下贮藏 3 d 其相应的菌落总数为 $9.43, 7.24 \log \text{ CFU/g}$, 而 4°C 贮藏 20 d, 25°C 贮藏 2 d 时, 其菌落总数均低于 $7 \log \text{ CFU/g}$ 。

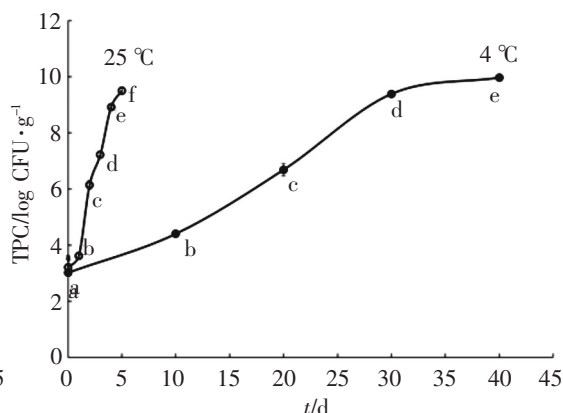


说明:同列数值旁字母不同时表示有显著差异($P<0.05$)

Notes: means within the same column followed by different letters are significantly different ($P<0.05$)

图1 淡干虾皮在4℃和25℃贮藏条件下TBARS的变化

Fig.1 TBARS of dry unsalted shrimp (*Acetes chinensis*) during storage at 4 °C and 25 °C



说明:同列数值旁字母不同时表示有显著差异($P<0.05$)

Notes: means within the same column followed by different letters are significantly different ($P<0.05$)

图2 淡干虾皮在4℃和25℃贮藏条件下菌落总数的变化

Fig.2 Total plate count of dry unsalted shrimp (*Acetes chinensis*) during storage at 4 °C and 25 °C

2.7 淡干虾皮贮藏期间的色差

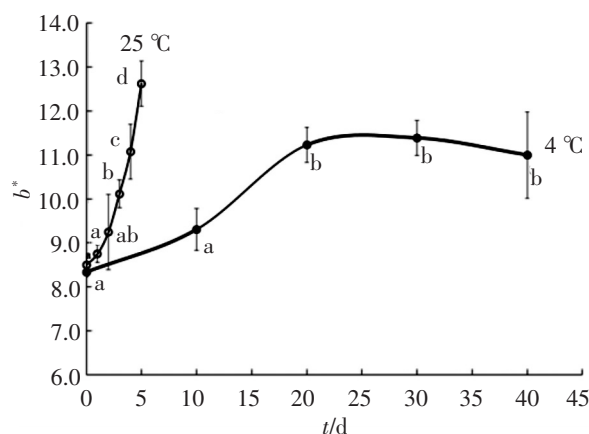
如图3所示,淡干虾皮贮藏期间的 b^* 值(黄蓝色度表征量)逐渐增加($P<0.05$)。相对于4℃贮藏而言,25℃贮藏时淡干虾皮 b^* 值增加更为明显。淡干虾皮在4℃贮藏30 d b^* 达到峰值然后变化不大($P<0.05$)。有研究者认为,虾青素的降解变化是导致色泽变化的原因^[19]。低温可以延缓虾青素的降解,因而影响 b^* 值的变化。另一方面,也有研究者认为,水产干制品中脂质氧化和非酶褐变是导致产品贮藏期间 b^* 值升高和发黄的主要原因^[20]。淡干虾皮贮藏期间的色差变化机理需要进一步的研究。淡干虾皮 L^* (明亮度表征量)在4℃贮藏10 d时显著升高,但是10 d后变化不明显。25℃贮藏时, L^* 无显著变化。淡干虾皮 a^* 值(红绿色度表征量)在4℃和25℃时变化都不明显(数据未列出)。

2.8 淡干虾皮贮藏期间感官评价

淡干虾皮是深受消费者喜爱的一种价廉、味美、营养价值颇高的大众化水产干制品。外观颜色、气味和滋味是影响产品的重要感官指标。感官评价分数如表2所示。本实验中超过3分被认定为感官品质不可接受。淡干虾皮样品在25℃贮藏3 d或在4℃贮藏30 d后,已经出现发黄产异味现象超过感官品质可接受水平。淡干虾皮在低温下感官品质保持相对稳定,这也与前述的理化指标相吻合。

2.9 品质指标与贮藏时间的相关性

如表3所示,本实验所测样品品质指标与贮藏时间都有极显著关联($P<0.01$)。相关系数除25℃贮藏条件下的pH值外都高于0.80。TVB-N、TMA-N与贮藏时间相关性较好可作为品质评价指标。虽然TBARS的泊松相关系数很高,但如前所述,因为影响TBARS结果的不确定因素较多,一般不易作为质量评价的量化指标。菌落总数与贮藏时间极为相关,也是研究者经常用来作为品质评价的重要参数。 b^* 虽然相关性略差,但是相对于理化指标,由于其检测快速方便,在产品品质管理方面



说明:同列数值旁字母不同时表示有显著差异($P<0.05$)

Notes: means within the same column followed by different letters are significantly different ($P<0.05$)

图3 淡干虾皮在4℃和25℃贮藏条件下 b^* 值的变化

Fig.3 b^* of dry unsalted shrimp (*Acetes chinensis*) during storage at 4 °C and 25 °C

有较大应用潜力。感官评价虽然经常用来评价食品品质，但易受主观因素的影响，可靠性、准确性及重复性存在一定缺陷。

表 2 淡干虾皮在 4 ℃ 和 25 ℃ 贮藏条件下感官品质的变化
Tab. 2 Sensory scores of dry unsalted shrimp (*Acetes chinensis*) during storage at 4 ℃ and 25 ℃

温度 Temperature/℃	贮藏时间 Storage time/d	感官评价 Sensory evaluation/分		
		颜色 Color	气味 Odor	滋味 Taste
4	0	1.0 ± 0.0 ^a	1.5 ± 0.5 ^a	1.5 ± 0.5 ^a
	10	1.3 ± 0.5 ^a	1.7 ± 0.5 ^a	1.8 ± 0.4 ^a
	20	2.2 ± 0.4 ^b	2.3 ± 0.4 ^b	3.0 ± 0.5 ^b
	30	3.5 ± 0.5 ^c	3.0 ± 0.0 ^c	3.7 ± 0.5 ^c
	40	4.2 ± 0.4 ^d	4.4 ± 0.5 ^d	4.5 ± 0.5 ^d
25	0	1.0 ± 0.0 ^a	1.5 ± 0.5 ^a	1.5 ± 0.5 ^a
	1	1.3 ± 0.5 ^a	1.7 ± 0.5 ^a	1.7 ± 0.5 ^a
	2	2.0 ± 0.0 ^b	2.2 ± 0.4 ^b	2.5 ± 0.5 ^b
	3	3.0 ± 0.0 ^c	3.2 ± 0.4 ^c	3.8 ± 0.4 ^c
	4	3.8 ± 0.4 ^d	3.7 ± 0.5 ^d	4.3 ± 0.5 ^d
	5	4.2 ± 0.4 ^d	4.7 ± 0.5 ^e	4.7 ± 0.5 ^e

说明：同列数值旁字母不同时表示有显著差异 ($P < 0.05$)
Notes: means within the same column followed by different letters are significantly different ($P < 0.05$)

表 3 淡干虾皮在 4 ℃ 和 25 ℃ 贮藏条件下品质指标与贮藏时间的相关系数
Tab. 3 Correlation coefficients between quality parameters and storage time for dry unsalted shrimp (*Acetes chinensis*) during storage at 4 ℃ and 25 ℃

温度 Temperature/℃	pH	TVB-N	TMA-N	TBARS	TPC	b^*	颜色 Color	气味 Odor	滋味 Taste
4	0.97	0.94	0.99	0.99	0.98	0.81	0.94	0.89	0.93
25	0.73	0.86	0.98	0.99	0.98	0.93	0.96	0.90	0.90

说明：相关系数均为极显著相关 ($P < 0.01$)
Notes: all of the correlation coefficients are extremely significant ($P < 0.01$)

3 结论

含盐量、含水量及贮藏温度是影响淡干虾皮品质劣变的主要因素，低温可以明显抑制其变质并延长贮藏货架期。本实验所测品质指标与贮藏时间都有一定的相关性，其中，TVB-N、TMA-N 和 TPC 可以用来监控淡干虾皮贮藏期间的品质变化。结合感官评价，当 TVB-N > 0.30 mg/g、TMA-N > 0.05 mg/g、菌落总数 > 7 log CFU/g 时，该产品开始进入腐败变质期。色差分析作为快速简便的检测方法有较大应用潜力。所有这些质量评价指标方法都有其优缺点，但是可以结合具体情况综合运用来对淡干虾皮质量进行评价分析。

[参 考 文 献]

[1] 刘东红, 谢丹, 周向华, 等. 气调包装技术用于虾皮保鲜的效果研究 [J]. 农业工程学报, 2007, 23(3): 219-222.
[2] LIU J, ZHAO P, LIU L, et al. Decrease of lipid oxidation for dried shrimp (*Acetes chinensis*) preservation using alkaline lipase hydrolysis technology [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2016, 25(2): 169-176.
[3] 潘超然. 中国毛虾皮低盐度半脱水工艺的研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 168-172.
[4] AOAC. Trimethylamine nitrogen in seafood colorimetric method [M] //17th ed. HORWITZ W. Official Methods of A-
<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

- nalys of AOAC International. Gaithersburg MD: AOCS Press, 2000.
- [5] BEDINGHAUS A J, OCKERMAN H W. Antioxidative Maillard reaction products from reducing sugars and free amino acids in cooked ground pork patties [J]. Journal of Food Science, 1995, 60(5): 992-995. DOI:10.1111/j.1365-2621.1995.tb06277.x.
- [6] LU F, ZHANG J, LIU S, et al. Chemical, microbiological and sensory changes of dried *Acetes chinensis* during accelerated storage [J]. Food Chemistry, 2011, 127(1): 159-168. DOI:10.1016/j.foodchem.2010.12.120.
- [7] ZENG Q Z, THORARINSDOTTIR K A, OLAFSDOTTIR G. Quality changes of shrimp (*Pandalus borealis*) stored under different cooling conditions [J]. Journal of Food Science, 2005, 70(7): 459-466. DOI:10.1111/j.1365-2621.2005.tb11493.x.
- [8] SOUZA B W S, CERQUEIRA M A, RUIZ H A, et al. Effect of chitosan-based coatings on the shelf life of salmon (*Salmo salar*) [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(21): 11456-11462. DOI:10.1021/jf102366k.
- [9] QIU X, CHEN S, LIU G, et al. Quality enhancement in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) fillets stored at 4℃ by chitosan coating incorporated with citric acid or licorice extract [J]. Food Chemistry, 2014, 162: 156-160. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.04.037.
- [10] ABABOUC H L, SOUBRI L, RHALIBY K, et al. Quality changes in sardines (*Sardina pilchardus*) stored in ice and at ambient temperature [J]. Food Microbiology, 1996, 13(2): 123-132. DOI:10.1006/fmic.1996.0016.
- [11] BONO G, BADALUCCO C. Combining ozone and modified atmosphere packaging (MAP) to maximize shelf-life and quality of striped red mullet (*Mullus surmuletus*) [J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(2): 500-504. DOI:10.1016/j.lwt.2014.01.017.
- [12] DALGAARD P, GRAM L, HUSS H H. Spoilage and shelf-life of cod fillets packed in vacuum or modified atmospheres [J]. International Journal of Food Microbiology, 1993, 19(4): 283-294. DOI:10.1016/0168-1605(93)90020-H.
- [13] OKPALA C O R. Investigation of quality attributes of ice-stored Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) as affected by sequential minimal ozone treatment [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(2): 538-547. DOI:10.1016/j.lwt.2014.02.007.
- [14] GRAM L, DALGAARD P. Fish spoilage bacteria-problems and solutions [J]. Current Opinion in Biotechnology, 2002, 13(3): 262-266. DOI:10.1016/S0958-1669(02)00309-9.
- [15] GRAM L, WEDELL-NEERGAARD C, HUSS H H. The bacteriology of fresh and spoiling Lake Victorian Nile perch (*Lates niloticus*) [J]. International Journal of Food Microbiology, 1990, 10(3/4): 303-316. DOI:10.1016/0168-1605(90)90077-I.
- [16] FERNÁNDEZ J, PEREZ-ÁLVAREZ J A, FERNÁNDEZ-LÓPEZ J A. Thiobarbituric acid test for monitoring lipid oxidation in meat [J]. Food Chemistry, 1997, 59(3): 345-353. DOI:10.1016/S0308-8146(96)00114-8.
- [17] KULAWIK P, ÖZÖĞÜL F, GLEW R H. Quality properties, fatty acids, and biogenic amines profile of fresh tilapia stored in ice [J]. Journal of Food Science, 2013, 78(7): 1063-1068. DOI:10.1111/1750-3841.12149.
- [18] OUATTARA B, SABATO S F, LACROIX M. Combined effect of antimicrobial coating and gamma irradiation on shelf life extension of pre-cooked shrimp (*Penaeus* spp.) [J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 68(1/2): 1-9. DOI:10.1016/S0168-1605(01)00436-6.
- [19] NIAMNUY C, DEVAHASTIN S, SOPONRONNARIT S, et al. Kinetics of astaxanthin degradation and color changes of dried shrimp during storage [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 87(4): 591-600. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2008.01.013.
- [20] ROSA A, SCANO P, ATZERI A, et al. Effect of storage conditions on lipid components and color of Mugil cephalus processed roes [J]. Journal of Food Science, 2012, 77(1): 107-114. DOI:10.1111/j.1750-3841.2011.02450.x.

(责任编辑 马建华 英文审校 刘静雯)