

草鱼鱼肉电导率与鲜度指标的相关性研究

张丽娜¹ 罗永康^{1*} 李雪¹ 沈慧星²

(1. 中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083;

2. 中国农业大学 理学院, 北京 100083)

摘要 为了快速检测水产品的新鲜度,采用电导率法测定草鱼鱼肉电导率在贮藏过程中的变化规律,验证电导率作为测定鱼肉新鲜度指标的可行性。测定-3和3℃贮藏过程中草鱼鱼肉浸出液电导率、菌落总数、挥发性盐基氮质量分数 ω (TVB-N)、硫代巴比妥酸质量分数 ω (TBA)和鲜度指标 K 随贮藏时间的变化规律;利用最小二乘法计算电导率与菌落总数、 ω (TVB-N)、 ω (TBA)、 K 的相关性。结果表明:草鱼在-3和3℃贮藏条件下的电导率、菌落总数、 ω (TVB-N)、 ω (TBA)和 K 均随着贮藏时间的延长而增大,且电导率与菌落总数、 K 、 ω (TVB-N)、 ω (TBA)相关性极显著($P < 0.01$),相关系数 r 均大于0.960。电导率法可以作为快速判定草鱼新鲜度的有效方法。

关键词 草鱼; 新鲜度; 电导率; 菌落总数

中图分类号 S 985.1⁺1; S 984.11

文章编号 1007-4333(2011)04-0153-05

文献标志码 A

Research on relationship between electric conductivity and freshness indicators of Grass carp

ZHANG Li-na¹, LUO Yong-kang^{1*}, LI Xue¹, SHEN Hui-xing²

(1. College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. College of Science, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to detect the freshness of fish rapidly, electric conductivity method was applied to measure the electric conductivity changes during storage to verify its feasibility. Variations of the electric conductivity, aerobic bacterial count, total volatile basic nitrogen (TVB-N), 2-thiobarbituric acid (TBA) and K value were detected during storage. And the relationship between electric conductivity and aerobic bacterial count, TVB-N, TBA and K value of grass carp (*Ctenpharyngodon idellus*) stored at -3 and 3 °C was also studied used by the least square method. The result showed that electric conductivity, aerobic bacterial count, TVB-N, TBA and K value grew with the increasing storage time. Moreover, there was good correlations between electric conductivity and aerobic bacterial count, TVB-N, TBA, K value ($P < 0.01$), and all the correlation coefficients were more than 0.960. Thus electric conductivity can be used as a rapid and effective method to detect grass carp freshness.

Key words grass carp; electric conductivity; freshness; aerobic bacterial count

淡水鱼鱼体内常含有多种酶类,体表带有多种微生物,在贮藏或加工过程中会引起肌肉质地、风味和化学成分等的变化,致使水产品鲜度下降、品质变差,甚至引起食品安全问题。新鲜度是鱼类或鱼类制品质量的重要指标,对产品最终质量十分重要。

新鲜度的传统检测方法主要有感官评价方法、微生物学方法和化学方法等^[1]。感官评价有一定的人为因素;菌落总数是食品腐败变质的一个重要指标;挥发性盐基氮(TVB-N)是肉制品在菌落和酶作用下分解产生的氨及低级胺类,通常作为肉类的鲜

收稿日期: 2010-12-23

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-46)

第一作者: 张丽娜,硕士研究生, E-mail: zhanglina081986@163.com

通讯作者: 罗永康,教授,博士生导师,主要从事水产品加工研究, E-mail: luoyongkang@263.net

度指标^[2],硫代巴比妥酸(TBA)与由多不饱和脂肪酸和磷脂的氧化所引起的食品异味有关,常用来判定脂肪含量高的鱼类贮藏早期脂肪氧化程度^[3]。研究表明^[4-6]:利用K评价大多数鱼种僵直期的鲜度比较适宜。但以上检测方法耗时长、操作复杂、检测费用高,不能满足快速检测的要求。国内外检测鱼体鲜度新方法主要有:图像分析技术^[7]、近红外光谱测量^[8]、电子鼻技术^[9]、生物阻抗法^[10]、表面荧光光谱法^[11]、NSPEs膜电极法^[12]和液相色谱法^[13-14]等,但这些方法复杂,费用高,在实际检测中很难推广应用。

目前,电导率法已经广泛的应用于肉类和水产品的研究。例如:利用导电特性可以区别白肌肉(PSE肉)和黑干肉(DFD肉)^[15];也可以区别冰鲜鱼和解冻鱼,沈慧星等^[16-18]研究表明利用导电特性可以有效地鉴别冰鲜和解冻鲫鱼、鲢鱼、梭鱼、团头鲂;也有研究将导电特性应用于贮藏过程中虾的新鲜度检测,并得出-20、5、25、35℃条件下贮藏的虾的阻抗与菌落总数存在很好的相关性^[19]。电导率的测定快速、简便、灵敏,但关于电导率是否可以作为快速检测鱼肉新鲜度指标的研究未见报道。

为了全面了解电导率与鱼肉新鲜度的关系,评价利用电导率快速准确测定鱼肉新鲜度的可行性,笔者拟测定草鱼在-3和3℃条件下的电导率、菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 及K随贮藏时间的变化,分析电导率与菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 及K的相关性。

1 材料与方 法

1.1 试样的预处理

草鱼购于北京市四道口水产批发市场,质量(1 500.0±100.0)g,体长(46.0±1.0)cm。购买后的草鱼放在冰水里击毙后去鳞、内脏、头、尾,用水冲洗干净,取鱼脊背肉分段,每块约30g,分别装入聚乙烯保鲜袋中密封,贮藏在-3和3℃条件下。于贮藏的第0、3、6、9、12、15、18天随机取样测定其电导率、菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 及K。每次试验做3个平行。

1.2 试验方法

1.2.1 电导率的测定

取草鱼脊背肉,用组织捣碎机进行搅拌。取绞碎的鱼背脊部肌肉10.00g于烧杯中,加入蒸馏水至100mL,搅拌30min后过滤,取其滤液用FE-30电导率仪(METTLER TOLERO,托利多有限公

司,上海)进行测定。

1.2.2 菌落总数的测定

参照 Song Yongling 等^[20]的操作方法。在无茵操作台内,称取25.00g绞碎的鱼背脊部肌肉置于225mL灭菌生理盐水中,充分震荡后,配成质量体积比为1:10g/mL的均匀稀释液。选择3个适宜的稀释度,各取1mL稀释液加入营养琼脂平板,进行涂布,在36℃恒温箱中培养48h,同时再做2个重复;用平板计数法测定菌落数。以灭菌的稀释液为空白作对照试验。

1.2.3 挥发性盐基氮(TVB-N)质量分数的测定

按半微量蒸馏法^[21]测定。称取10.00g绞碎的鱼背脊部肌肉置于烧杯中加蒸馏水至100mL,搅拌机搅拌,浸渍30min后过滤,准确吸取5.00mL滤液于消化管中,加入5.00mL质量浓度10g/L氧化镁悬液进行蒸馏,用加有5滴混合指示剂的10.00mL硼酸做吸收液,蒸馏5min后用0.01mol/L的标准盐酸溶液滴定,根据消耗的盐酸量计算TVB-N质量分数。

1.2.4 硫代巴比妥酸(TBA)质量分数的测定

参照 Amonrat T hanonkaew 等^[22]的方法。取4.00g绞碎的鱼背脊部肌肉溶于20mL硫代巴比妥酸溶液(0.375%硫代巴比妥酸,15%三氯乙酸和0.25mol/L HCl),10 000 r/min均质1min,混合物沸水加热10min,流动水冷却5min,混合物3 600 r/min离心20min(常温),取上清液,532nm测定吸光度值。标准曲线根据二甲胺(MDA)含量和硫代巴比妥酸反应物(TBARS)的吸光值绘制。

1.2.5 鲜度指标K的测定

采用 Song Yongling 等^[20]的提取法。称取1.00g绞碎的肉,加10%高氯酸(PCA)2mL,在0℃下匀浆,浆液离心分离,取上清液,沉淀用5%冷PCA 2mL洗涤,离心3次,合并上清液用10mol/L和1mol/L的KOH溶液调节pH至6.4,离心,白色结晶沉淀用pH6.4的冷PCA液洗涤,合并上清液并定容至10mL,用0.45μm的膜过滤,滤液贮存于-20℃冰箱待测。测定仪器为岛津高效液相色谱仪CTO-10AS,分离柱为5-C18PAQ,进样量20μL。一般认为鱼死后鱼肉内ATP依次降解为腺苷二磷酸(Adenosine Diphosphate, ADP)、腺苷酸(Adenosine Monophosphate, AMP)、肌苷酸(Inosinic acid, IMP)、次黄嘌呤核苷(Inosine, HxR)和次黄嘌呤(Hypoxanthine, Hx)。

$$K/\% = \frac{[b(\text{HxR}) + b(\text{Hx}) / (b(\text{ATP}) + b(\text{ADP}) + b(\text{AMP}) + b(\text{IMP}) + b(\text{HxR}) + b(\text{Hx}))] \times 100}{1}$$

式中： K 为鲜度指标，%； $b(\text{ATP})$ 、 $b(\text{ADP})$ 、 $b(\text{AMP})$ 、 $b(\text{IMP})$ 、 $b(\text{HxR})$ 和 $b(\text{Hx})$ 分别为腺苷三磷酸、腺苷二磷酸、腺苷酸、肌苷酸、肌苷和次黄嘌呤的质量摩尔浓度， $\mu\text{mol/g}$ 。

1.3 数据处理

采用 Excel(2007) 软件对电导率及各鲜度指标随贮藏时间的变化分析作图，并利用 SPSS(17.0) 软件分析电导率与各鲜度指标的相关性，根据最小二乘法得到相关系数。

表 1 -3 和 3 °C 贮藏条件下草鱼鲜度指标的测定值

Table 1 Freshness indicators' values of grass carp stored at -3 and 3 °C

温度/°C	贮藏时间/d	lg(菌落总数/(cfu/g))	$\omega(\text{TVB-N})/(\text{mg}/100\text{g})$	$\omega(\text{TBA})/(\text{mg}/\text{kg})$	$K/\%$	电导率/ $(\mu\text{S}/\text{cm})$
-3	0	3.45±0.02	10.01±0.22	0.276±0.005	8.26±0.54	1 155.5±6.36
	3	3.72±0.07	10.32±0.65	0.312±0.005	11.53±1.03	1 168.0±5.65
	6	4.05±0.04	10.78±0.02	0.367±0.010	14.11±0.86	1 188.5±3.53
	9	4.26±0.03	11.55±1.09	0.445±0.005	17.91±1.82	1 211.5±4.94
	12	4.32±0.02	13.40±0.65	0.551±0.031	23.70±1.41	1 243.0±25.46
	15	5.17±0.03	13.86±0.21	0.695±0.015	28.61±1.69	1 276.5±6.36
	18	5.59±0.04	15.71±0.44	0.761±0.016	37.81±2.03	1 317.5±19.09
3	0	3.45±0.022	10.01±0.22	0.276±0.005	8.26±0.78	1 155.5±6.37
	3	4.25±0.032	14.17±0.44	0.401±0.130	14.11±0.94	1 183.5±20.51
	6	5.00±0.049	15.40±2.18	0.470±0.041	26.36±1.96	1 217.0±19.79
	9	5.45±0.016	17.25±0.44	0.643±0.109	37.46±1.71	1 262.5±12.02
	12	6.83±0.073	18.48±2.18	0.805±0.109	50.37±2.52	1 299.0±4.24
	15	7.06±0.024	22.18±1.31	1.404±0.042	73.61±1.83	1 362.5±6.36

2.2 菌落总数、 $\omega(\text{TVB-N})$ 、 $\omega(\text{TBA})$ 、 K 与电导率的相关性

微生物污染是食品腐败变质的主要原因。对于淡水鱼国标规定：1 级鲜度，微生物数量上限为 10^4 cfu/g， $\omega(\text{TVB-N})$ 为 13 mg/100 g；2 级鲜度，微生物数量上限为 10^6 cfu/g， $\omega(\text{TVB-N})$ 为 20 mg/100g。李学英等对 0、3、7 和 10 °C 贮藏的大黄鱼的感官、化学和微生物品质进行研究表明，菌落总数和 $\omega(\text{TVB-N})$ 均与感官鲜度有较好的一致性^[24]，可以作为低温贮藏大黄鱼高品质期和货架期的指标。

2 结果与分析

2.1 电导率、菌落总数、 $\omega(\text{TVB-N})$ 、 $\omega(\text{TBA})$ 及 K 随贮藏时间的变化

保存过程中，由于微生物蛋白酶的作用，蛋白质、脂肪等分解成大量小分子物质，产生大量离子，从而使鱼肉浸出液产生大量具有导电能力的物质。保存时间越长鱼肉的分解产物越多，导电能力越强，鱼肉的新鲜度越差^[23]。-3 和 3 °C 贮藏条件下，草鱼的菌落总数、 $\omega(\text{TVB-N})$ 、 $\omega(\text{TBA})$ 、 K 与电导率随着贮藏时间的延长不断增加，随贮藏温度的升高，增加幅度越大(表 1)。

$\omega(\text{TBA})$ 被广泛的用来评价脂肪氧化程度，TBA 反应物质主要发生在自溶阶段，在这个阶段过氧化物氧化为醛和酮。根据叶盛权^[25]的报道， K 是一种很好评价鱼类新鲜度的指标，新鲜鱼 K 大约在 20% 以下，20%~60% 可供一般食用与加工，60%~80% 为腐败鱼。

根据表 1 的数据，用最小二乘法对电导率与菌落总数、 $\omega(\text{TVB-N})$ 、 $\omega(\text{TBA})$ 和 K 的相关性进行分析。由图 1 可知，电导率、菌落总数、 $\omega(\text{TVB-N})$ 、 $\omega(\text{TBA})$ 及 K 均随着贮藏时间的延长而增加，且存

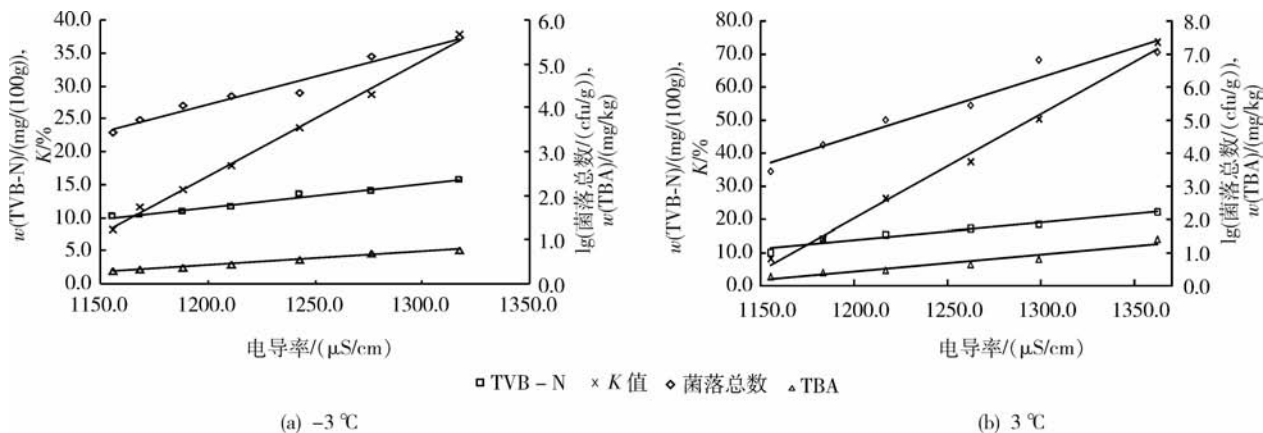


图1 -3和3℃条件下草鱼菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 和 K 与电导率的相关性

Fig. 1 Correlation between aerobic bacterial count, $w(\text{TVB-N})$, $w(\text{TBA})$, K and electric conductivity of grass carp stored at -3 and 3 °C

在着很好的相关性。 -3 °C储存条件,电导率与菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 及 K 的相关性回归方程分别为:

$$Y_1 = 0.0127X_1 - 11.11 \quad (r = 0.982)$$

$$Y_2 = 0.0357X_2 - 31.37 \quad (r = 0.992)$$

$$Y_3 = 0.0032X_3 - 3.38 \quad (r = 0.995)$$

$$Y_4 = 0.1756X_4 - 196.44 \quad (r = 0.998)$$

3 °C储存条件下,电导率与菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 及 K 的相关性回归方程分别为:

$$Y_1 = 0.0018X_1 - 16.99 \quad (r = 0.971)$$

$$Y_2 = 0.0522X_2 - 48.83 \quad (r = 0.973)$$

$$Y_3 = 0.0051X_3 - 5.68 \quad (r = 0.963)$$

$$Y_4 = 0.3153X_4 - 358.05 \quad (r = 0.997)$$

式中: X 表示电导率; Y_1 、 Y_2 、 Y_3 、 Y_4 分别表示菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 和 K 。

3 讨论

鱼在贮藏过程中由于微生物和蛋白酶的作用其电导率发生改变,通过测定鱼肉浸出液的电导率可判定其鲜度。鱼死后,组织细胞发生自溶,通过鱼体的电流和鱼肉的电容均会发生改变。由于电流也经表皮传导,因此通过在鱼或鱼片的表面安放电极也可进行检测,但产品会出现机械损伤或冷冻变性,影响所测数据的准确性^[26]。

由 -3 和 3 °C草鱼的菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 、 K 与电导率的相关系数可知,回归方程具有很高的拟合精度,且同一贮藏温度下电导率与菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 、 K 的相关性极显著

($P < 0.01$)。牛乐宝等^[27]研究了鲜猪肉和西式火腿的鲜度指标变化得出, $w(\text{TVB-N})$ 和菌落总数与电导率有良好的相关性。沈莲清等^[28]利用电化学法快速检测猪肉新鲜度,结果表明电导率与 $w(\text{TVB-N})$ 也有一定的线性相关性,相关系数 $r = 0.900$ 。Parisi等^[29]研究了欧洲鲈鱼在冷藏过程中感官评价与 K 、死后僵直指数、电导率、弹性、pH以及蒸煮损失率随贮藏时间变化的相关性,结果表明电导率与感官分析具有很好的相关性。本实验研究草鱼的电导率与鲜度指标的相关性,所得的相关系数均在 0.960 以上。因此,用电导率作为判断草鱼新鲜度是可行的;但不同贮藏温度下的电导率和各鲜度指标的变化速率有差异,这可能是由于鱼肉在不同贮藏温度下的腐败速率不同造成的。

4 结论

在 -3 和 3 °C贮藏条件下,草鱼的电导率、菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 与 K 均随贮藏时间的延长而呈上升趋势,且同一贮藏温度下电导率与菌落总数、 $w(\text{TVB-N})$ 、 $w(\text{TBA})$ 和 K 存在着极好的相关性($P < 0.01$),相关系数均在 0.960 以上,可以用电导率作为判断草鱼新鲜度的指标。但要想通过电导率的变化预测不同温度下鱼肉鲜度的变化,还需要分析多个温度下电导率与鲜度指标的相关性及变化速率,建立更完善的预测模型。

参 考 文 献

[1] 张军,李小昱,王为,等.用阻抗特性评价鲫鱼鲜度的试验研究

- [J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 44-48
- [2] 王秀娟, 张坤生. 壳聚糖涂膜保鲜虾的研究[J]. 食品科学, 2007, 28(7): 521
- [3] 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
- [4] 佟懿, 谢晶. 鲜带鱼不同贮藏温度的货架期预测模型[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 301-305
- [5] Vanesa L, Carmen P, Jorge B V, et al. Inhibit ion of chemical changes related to freshness loss during storage of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in slurry ice [J]. Food Chemistry, 2005, 93: 629-625
- [6] Santiago P A, Carmen P, José M G, et al. Biochemical changes and quality loss during chilled storage of farmed turbot (*Psettama xima*) [J]. Food Chemistry, 2005, 90: 445-452
- [7] Olafsdottir G, Nesvadba P, Di Natale C, et al. Multisensor for fish quality determination [J]. Trends in Food Science and Technology, 2004, 15: 86-93
- [8] Marquardt B J, Wold J P. Raman analysis of fish: A potential method for rapid quality screening [J]. LWT-Food Science and Technology, 2004, 37: 1-8
- [9] 张军. 基于复阻抗特性和电子鼻的淡水鱼新鲜度快速检测方法的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008
- [10] 张军, 李小昱, 王为, 等. 淡水鱼鲜度监测系统的阻抗特性[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 103-107
- [11] Dufour E, Frenicia J P, Kane E. Development of a rapid method based on front-face fluorescence spectroscopy for the monitoring of fish freshness [J]. Food Research International, 2003, 36: 415-423
- [12] 崔海英, 曾名勇. 鱼肉鲜度快速检测技术新进展[J]. 水产科学, 2004, 23(7): 36-38
- [13] Karoui R, Thomas E, Dufour E. Utilisation of a rapid technique based on front-face fluorescence spectroscopy for differentiating between fresh and frozen-thawed fish fillets [J]. Food Research International, 2006, 39: 349-355
- [14] Iglesias J, Medina I, Bianchi F, et al. Study of the volatile compounds useful for the characterisation of fresh and frozen-thawed cultured gilthead sea bream fish by solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2009, 115: 1473-1478
- [15] Castro-Giráldez M, Botella P, Toldrá F, et al. Low-frequency dielectric spectrum to determine pork meat quality [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2010, 11: 376-386
- [16] 沈慧星, 张连娣, 戴允玢, 等. 冰鲜和解冻鲫鱼的导电特性[J]. 中国农业大学学报, 2004, 9(5): 42-44
- [17] 沈慧星, 张连娣, 戴允玢, 等. 物理方法快速鉴定冰鲜和解冻鲢鱼和梭鱼的研究[J]. 食品科技, 2005, 11: 55-57
- [18] 张丽娜, 沈慧星, 罗永康, 等. 冰鲜和解冻团头鲂在贮藏过程中导电特性变化规律研究[J]. 渔业现代化, 2009, 6(36): 39-41
- [19] Marshall D L, Wiese-Lehigh P L. Comparison of impedance, microbial, sensory and pH methods to determine shrimp quality [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 1997, 6(2): 17-31
- [20] Song Yongling, Liu Lei, Shen Huixing, You Juan, et al. Effect of sodium alginate-based edible coating containing different anti-oxidants on quality and shelf life of refrigerated bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Food Control, 2011, 22: 608-615
- [21] 董伟坤. 食品检验与分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1989: 393-400
- [22] Amonrat T, Soottawat B. The effect of metal ions on lipid oxidation, colour and physicochemical properties of cuttlefish (*Sepia pharaonis*) subjected to multiple freeze-thaw cycles [J]. Food Chemistry, 2006, 95: 591-599
- [23] 周冬香, 陈朝, 徐朝霞, 等. 电导法快速检测淡水鱼新鲜度的方法研究[J]. 食品科学, 1998, 19(6): 39-42
- [24] 李学英, 许钟, 郭全友, 等. 大黄鱼冷藏过程中的鲜度变化[J]. 中国水产科学, 2009, 16(3): 442-449
- [25] 叶盛权. 冰藏贮存中鲈鱼鲜度的化学指标分析[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(2): 111-112
- [26] 田灏, 陆利霞, 熊晓辉. 鱼肉鲜度快速检测技术进展[J]. 食品工业科技, 2008, 29(7): 286-288
- [27] 牛乐宝, 曹振辉, 葛长荣. 肉品新鲜度的现代快速检验方法[J]. 农产品加工, 2007(2): 36-38
- [28] 沈莲清, 陈荷风, 朱兆服, 等. 电化学法快速检测肉品新鲜度之研究[J]. 食品科学, 1996, 17(3): 55-58
- [29] Parisi G, Franci O, Poli B M. Application of multivariate analysis to sensorial and instrumental parameters of freshness in refrigerated sea bass (*Dicentrarchus labrax*) during shelf life [J]. Aquaculture, 2002, 214: 153-167

(责任编辑: 刘迎春)