

基于气味与颜色的脊尾白虾新鲜度评价

唐琳, 屠康*, 潘磊庆, 惠腾, 陈晓博, 谢一平, 刘明, 刘鹏

(南京农业大学食品科技学院, 南京 210095)

摘要: 该文旨在建立一种检测脊尾白虾新鲜度的无损检测方法, 利用电子鼻与色差仪研究在 4℃ 冷藏条件下不同新鲜度脊尾白虾的气味和颜色的变化规律, 分别建立气味、颜色、气味结合颜色的 3 种新鲜度等级预测模型, 并进行比较分析。结果表明, 根据 LAB 表色系统, b^* 值随脊尾白虾鲜度的劣变呈正向线性相关; 电子鼻可将不同新鲜度等级的脊尾白虾进行准确区分, 并确定了反映其新鲜度变化的气敏传感器有 5 个 (S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 、 S_{10}); 利用气味、颜色、气味结合颜色建立的 3 个新鲜度等级预测模型都具有可行性 (平均准确率 $\geq 90.0\%$), 其中气味结合颜色建立的预测模型准确率最高, 达到 98.8%, 依次为气味、颜色模型。因此, 可根据气味结合颜色的预测模型对脊尾白虾新鲜度等级进行预测。

关键词: 模型, 预测, 农产品, 电子鼻, 色差仪, 新鲜度, 脊尾白虾

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.09.060

中图分类号: TP216, TS253.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-09-0344-05

唐琳, 屠康, 潘磊庆, 等. 基于气味与颜色的脊尾白虾新鲜度评价[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 344-348.

Tang Lin, Tu Kang, Pan Leiqing, et al. Evaluation of *E. carinicauda* freshness based on odor and color models[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 344-348. (in Chinese with English abstract)

0 引言

脊尾白虾是中国近海重要经济虾类, 其产量仅次于中国对虾和中国毛虾。除供鲜食外, 还可加工成海米, 有“金钩虾米”之称, 是目前数量最大, 分布最广的品种。但由于肌肉中含水率高、组织脆弱、天然免疫物质少等特点, 比一般的动物肉组织容易腐败, 不易贮藏^[1], 新鲜度难以保证。传统上评价水产品鲜度的方法主要是感官评定, 但主观性强。常用的化学方法是挥发性盐基氮和三甲胺的测定, 这些方法相对复杂、费时又具有破坏性^[2]。运用气相色谱和气质联用技术能够得到精确的数据, 但检测系统比较复杂、设备昂贵。随着水产品新鲜度检测新技术的不断出现, 目前国内外研究的热点集中在电子鼻技术^[3-6]、酶生物传感器技术^[1]、可见光与近红外光谱技术^[7-8]等方面。

电子鼻是一种模拟人类嗅觉系统的人工智能电子仪器, 可以用来测量一种或多种物质的气体敏感系统^[9], 在水产品检测中应用较广^[10-16]。柴春祥^[17]等初步研究了电子鼻在虾新鲜度检测中的可行性, 主要侧重于不同检测条件对电子鼻检测结果的影响, 得出了电子鼻对不同新鲜度虾的响应值存在差别的结论, 但没有进一步提取特

征参数以及建立相关的新鲜度模型。色差仪具有检测速度快, 廉价且具有一定精度, 仪器设计简单, 结构坚固, 适合在实验室环境及生产环境中离线操作, 不利于实际应用推广。

气味和颜色在脊尾白虾劣变过程中的变化较明显, 是虾新鲜度的敏感指标。虾体死亡后, 在微生物的作用下, 蛋白质、氨基酸及其他含氮物质被分解为氨、三甲胺、吲哚、硫化氢、组胺等低级产物, 使虾体产生具有腐败特征的臭味^[18]。同时, 由于多酚氧化酶在有氧存在时催化酪氨酸氧化, 再经过一系列的生化反应后会产生黑色素, 从而引起虾体颜色的变化。因此可以利用气味与颜色对脊尾白虾的新鲜度进行评价。通过电子鼻与色差仪来检测脊尾白虾的气味和颜色, 提取特征参数从而建立新鲜度模型, 能够更加全面、快速的反应虾体的鲜度。但目前尚无将电子鼻与色差仪相结合来评价水产品新鲜度的报道。

本文以电子鼻和色差仪检测技术为基础, 研究气味和颜色与脊尾白虾新鲜度的关系, 通过提取反应气味与颜色的特征参数, 建立基于气味与颜色的新鲜度预测模型, 从而确立一种脊尾白虾新鲜度的检测方法, 该方法无需样品前处理, 简便易行, 为脊尾白虾新鲜度的检测提供一种新的方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

脊尾白虾: 4 kg 鲜活运至实验室, 剔除死亡个体, 分装于保鲜盒中, 4℃ 冰箱冷藏, 每天取出 400 g。

1.2 试验仪器

AIRSENSE 公司 PEN 3 型便携式电子鼻 (德国); FOSS 公司 kjeltecTM2300 型凯氏定氮仪 (瑞士); Minolta

收稿日期: 2010-11-03 修订日期: 2011-07-22

基金项目: 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 江苏省高等学校大学生实践创新训练计划项目 (JSS0914)

作者简介: 唐琳 (1984—), 女, 河北邯郸人, 主要从事农产品无损检测方面的研究工作。南京卫岗 1 号南京农业大学食品科技学院, 210095。

Email: tanglin27@sohu.com

*通信作者: 屠康 (1968—), 男, 浙江黄岩人, 教授, 博士生导师, 中国农业工程学会高级会员 (E041200083S), 主要研究农产品贮藏与加工。南京卫岗 1 号南京农业大学食品科技学院, 210095。

Email: kangtu@njau.edu.cn

公司的 MinoltaCR-200 色彩色差仪（日本）；空调；冰箱；电子秤等。

1.3 试验方法

1.3.1 感官评价

每天取出 30 只 4℃ 冷藏的虾样，由 10 位感官评定人员根据表 1^[19-20]进行打分，如：一级鲜度（100~80），二级鲜度（80~60），腐败级（<60）依此确定新鲜度等级。

表 1 脊尾白虾感官评定打分表				
Table 1 Standard for <i>E.carinicauda</i> of sensory evaluation				
项目	80~100 (一级)	60~80 (二级)	40~60 (腐败初期)	0~40 (腐败中后期)
肉质组织 (30%)	肌肉纹理清晰有弹性，肉与壳连接紧密	肌肉略有弹性，不变色，肉与壳连接松弛	肌肉弹性较差，肉与壳连接松弛	肌肉组织松软，肉质发黄
体色色泽 (30%)	体表有光泽，头胸甲与体节间紧密连接	壳有轻微红色或黑色，头尾部出现黑斑	肌肉无固有色泽，体表出现大面积黑斑	体表面色泽灰暗，甲壳与虾体分离
气味 (40%)	具有海虾固有气味无任何异味	略有异味	异味较强	强烈异味

1.3.2 挥发性盐基氮的测定

每天取一次样，5 个重复。按照水产行业标准 SC/T 3032-2007 检测虾的挥发性盐基氮含量。

1.3.3 颜色的检测

采用色度学上 CIE（国际照明委员会）推荐的 LAB 表色系统，检测脊尾白虾腹部的 L^* 、 a^* 、 b^* 值，其物理含义分别为： L^* 表示明度； a^* 正值为红，负值为绿； b^* 正值为黄，负值为蓝。经预试验得出，脊尾白虾在新鲜度劣变过程中，虾体颜色逐渐变黄，本试验中 b^* 均大于 0，并且随新鲜度的降低呈线性上升，因此在试验中提取 b^* 值做进一步的分析研究。

每天取虾样 30 只，擦干表面水分，整齐摆放在白色平板上，利用色差仪采用 LAB 表色系统在 D65 光源下（模拟太阳光）测定虾腹部的 b^* 值。

1.3.4 气味检测

采用 PEN3 型电子鼻对脊尾白虾的气味进行检测，它包含 S_1 （W1C 芳香苯类）、 S_2 （W5S 氨氧化物）、 S_3 （W3C 氨类）、 S_4 （W6S 氢气）、 S_5 （W5C 烷烃）、 S_6 （W1S 甲烷）、 S_7 （W1W 硫化氢）、 S_8 （W2S 乙醇）、 S_9 （W2W 硫化氢类）和 S_{10} （W3S 芳香烷烃）10 个金属氧化物传感器阵列^[21]。记录 G/G_0 （表示第 n 号传感器接触到样品挥发物后的电阻量 G 与传感器在经过标准活性碳过滤后气体的电阻量 G_0 的比值），结合电子鼻自带的 Winmuster 软件对数据进行分析。

每天取出 4℃ 冷藏的虾样，（10±0.5）g（为一组样本）于 250 mL 烧杯中，用封口膜封口，设 30 个平行，于 20℃ 顶空 10 min，测量样品流速为 100 mL/min。多次预试验确定电子鼻检测从 50 s 开始趋于稳定，检测时间为 60 s，清洗时间为 90 s。

1.4 数据分析方法

利用 Winmuster 软件进行主成分分析（principal component analysis, PCA）和载荷分析（loadings），SPSS18

软件进行 Fisher 判别分析、SAS9.0 软件进行其他数据分析。

2 结果与分析

2.1 脊尾白虾新鲜度等级的确定

2.1.1 感官评价结果

贮藏起始（第 0 天）的虾体清晰透明，第 1、2 天颜色略发白，色泽光亮，甲壳坚实，无黑斑、红点，肉质紧实有弹性，无异味，第 0、1、2 天虾样感官评定得分均值分别为 99，86，81，根据评分标准为一级鲜度。贮藏第 3、4 天的虾体颜色略发黄，色泽稍亮，头甲略有发红，略有异味，但肉质良好，有弹性，得分均值分别为 75，64，根据评分标准为二级鲜度。贮藏第 5、6 天的虾样，头甲明显发黑，体表暗黄，甲壳连接松弛，肉质发红、松软宜烂，有较强烈的异味，手感发黏，得分均值分别为 56，41，根据评分标准为腐败级。

2.1.2 挥发性盐基氮检测结果

根据水产行业标准 SC 3113-2002 中规定，挥发性盐基氮(TVBN)(mgN/100 g)≤20 为一级鲜度，≤25 为二级鲜度，>25 为腐败级。试验结果表明，冷藏第 0、1、2 天的 TVBN 分别为 12.19，14.66，18.19 mgN/100 g，为一级鲜度；第 3、4 天的 TVBN 分别为 21.65，24.82 mgN/100 g，为二级鲜度；第 5、6 天的 TVBN 分别为 31.07，35.16 mgN/100 g，为腐败级。与感官评价结果一致。

通过感官评价和 TVBN 的检测结果可以确定 4℃ 冷藏第 0、1、2 天的虾为一级新鲜度，第 3、4 天为二级，5 天（含第 5 天）之后为腐败级。

2.2 颜色检测结果

脊尾白虾随贮藏时间延长其表面色泽从透明逐渐变黄至暗黄，在 LAB 表色系统中， $+b^*$ 表示黄色， $-b^*$ 表示蓝色，本试验中 b^* 均大于 0。图 1 表明， b^* 随脊尾白虾贮藏时间的延长呈线性上升，决定系数为 0.967。说明 b^* 与虾的新鲜度有很好的相关性。

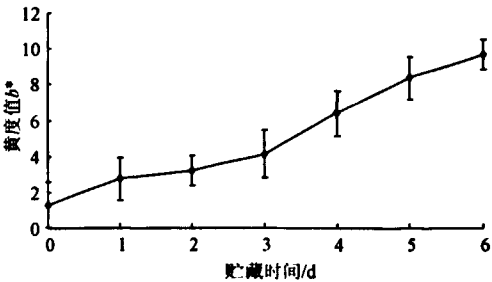


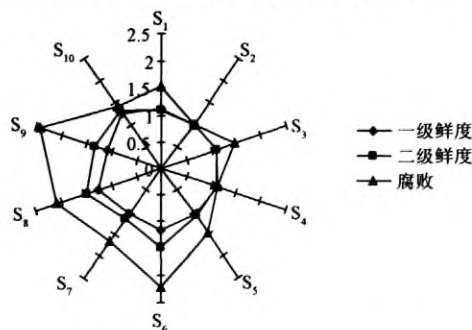
图 1 脊尾白虾贮藏过程中 b^* 值的变化
Fig.1 Changes in hang value b^* at different storage periods

2.3 气味检测结果

2.3.1 电子鼻信号及特征传感器筛选

图 2 所示，随新鲜度劣变，传感器响应值逐渐增强，其中 S_2 、 S_4 号传感器的响应值基本无变化， S_{10} 号传感器（对烷烃敏感）的响应值随新鲜度劣变缓慢上升，线性相关系数达到 0.98， S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 号传感器的响应值上升明显，分别对甲烷，硫化物，乙醇，硫化氢、芳香烷烃灵敏，其响应值的增长幅度从一级到二级的变化率分别

为 24.7%、20.7%、18.0%和 42.7%，而从二级到腐败级的气味变化显著增大，变化率分别为 78.1%、61.9%、72.5%和 95.4%，说明脊尾白虾从可食到腐败的气味差距较大。



注: $S_1 \sim S_{10}$ 为电子鼻 10 个金属氧化物传感器的响应值,下同

图 2 不同新鲜度等级脊尾白虾的电子鼻传感器响应值变化

Fig.2 Values of sensor response of the different freshness

2.3.2 主成分分析结果

结合电子鼻信号筛选出的特征传感器以及主成分分析的区分效果和贡献率,最终采用 S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 、 S_{10} 号传感器的响应值进行主成分分析。PCA1 和 PCA2 贡献率分别为 94.52%和 4.66%,累计贡献率为 99.18%。图 3 表明,经主成分分析,相同新鲜度等级的气味位点较为集中,分组明显,一级、二级与腐败级可以准确区分。

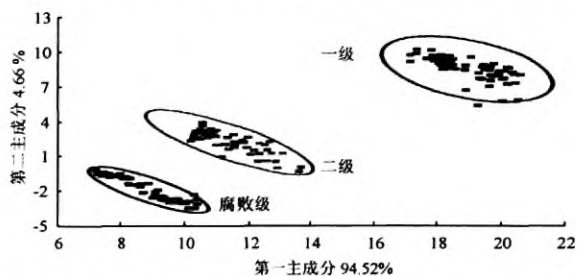


图 3 不同新鲜度等级的主成分分析结果

Fig.3 Principal components analysis score plot of different freshness

2.3.3 载荷分析结果

通过载荷分析可以进一步得出每个传感器在 PCA 中贡献的大小。图 4 表明, S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 响应值在第一主成分上比例较大,是第一主成分上的主要传感器, S_{10} 在第二主成分上比例较大,是第二主成分上的主要传感器,因此在主成分分析中判断新鲜度等级的主要传感器为 S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 、 S_{10} ,与之前分析结果吻合。

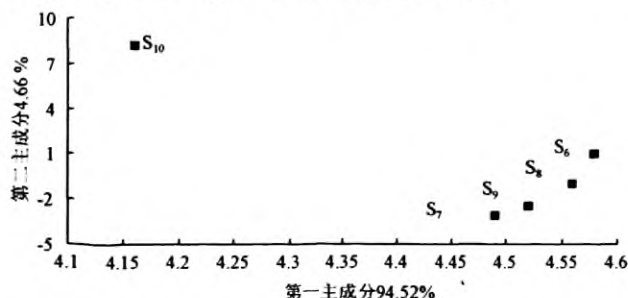


图 4 不同新鲜度等级脊尾白虾气味的载荷图

Fig.4 Loading analysis related to PC1 and PC2 of sensors

2.4 新鲜度等级预测模型的建立

2.4.1 基于颜色的新鲜度等级预测模型

1) 模型的建立过程

将 b^* 与新鲜度等级相结合建立预测模型。并对模型进行 Willks λ 检验, b^* ($P < 0.0001$), 说明 b^* 对模型有极显著的影响, 判别分析得到函数的 P 值均小于 0.0001, 所以模型的建立是有意义的。

基于颜色的新鲜度等级判别模型为

$$\begin{cases} Y_{\text{一级}} = -2.47 + 1.34b^* \\ Y_{\text{二级}} = -9.08 + 2.88b^* \\ Y_{\text{腐败}} = -24.52 + 5.00b^* \end{cases}$$

将 b^* 带入上式, 得出的 Y 值最大组即判为该新鲜度等级。

2) 模型的验证及评价

该模型的建模组有 120 组样本, 验证组有 50 组样本。表 2 所示, 建模组的准确率为 89.2%, 验证组的准确率为 90.0%, 说明该模型能够较好的对脊尾白虾新鲜度进行预测。

表 2 基于颜色的新鲜度等级预测模型的回判、验证结果
Table 2 Discrimination of the training and testing sets of the predicted model of freshness of *E. carinicauda* by color

新鲜度等级	一级	二级	腐败级	总计
建模组				
总样本量/组	40	40	40	120
正确分类量/组	36	35	36	107
错误分类量/组	4	5	4	13
准确率/%	90.0	87.5	90.0	89.2
验证组				
总样本量/组	15	17	18	50
正确分类量/组	14	15	16	45
错误分类量/组	1	2	2	5
准确率/%	93.3	88.2	88.9	90.0

2.4.2 基于气味的新鲜度等级预测模型

1) 模型的建立过程

结合 2.3 的分析结果, 选取响应值较大的 S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 号传感器响应值对新鲜度等级建立模型的准确率比加入 S_{10} 的高, 因此选取 S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 建立模型。对模型进行 Willks λ 检验, G/G_0 、 G/G_0 、 G/G_0 、 G/G_0 的 P 值均小于 0.0001, 说明 G/G_0 、 G/G_0 、 G/G_0 、 G/G_0 对模型影响是极显著的, 判别分析得到函数的 P 值均小于 0.0001, 所以模型的建立是有意义的。

基于气味的新鲜度等级预测模型为

$$\begin{cases} Y_{\text{一级}} = -174.72 - 27.70G/G_0 + 736.72G/G_0 + 4.67G/G_0 - 402.37G/G_0 \\ Y_{\text{二级}} = -168.13 + 6.73G/G_0 + 705.33G/G_0 + 22.58G/G_0 - 392.11G/G_0 \\ Y_{\text{腐败}} = -140.08 + 7.16G/G_0 + 494.76G/G_0 + 38.57G/G_0 - 263.797G/G_0 \end{cases}$$

将 G/G_0 、 G/G_0 、 G/G_0 、 G/G_0 带入上式, 得出的 Y 值最大组即判为该新鲜度等级。

2) 新鲜度等级预测模型的验证及评价

该模型的建模组有 120 组样本, 验证组有 50 组样本, 表 3 所示, 建模组的准确率为 94.2%, 验证组的准确率为 92.0%, 说明该模型能够很好地对脊尾白虾新鲜度进行预测。

表 3 基于气味的新鲜度等级预测模型的回判、验证结果

Table 3 Discrimination of the training and testing set of the predicted model of freshness of *E. carinicauda* by odor

新鲜度等级	一级	二级	腐败级	总计
建模组				
总样本量/组	40	40	40	120
正确分类量/组	38	37	38	113
错误分类量/组	2	3	2	7
准确率/%	95.0	92.5	95.0	94.2
验证组				
总样本量/组	17	17	16	50
正确分类量/组	15	16	15	46
错误分类量/组	2	1	1	4
准确率/%	88.2	94.1	93.8	92.0

2.4.3 气味结合颜色的新鲜度等级预测模型

由于脊尾白虾在新鲜度劣变过程中, 气味与颜色的变化较明显, 因此利用色差仪与电子鼻分别检测样品, 提取特征参数, 将色度值与气味传感器响应值相结合建立新鲜度等级预测模型, 从而使检测结果更加全面和准确。

1) 模型的建立过程

提取气味传感器响应值与 b^* 值建立模型, 结果表明, 仅利用 G/GO_6 、 G/GO_9 与 b^* 值建立模型就能得到高准确率, 对模型进行 Willks λ 检验, G/GO_6 、 G/GO_9 、 b^* 的 P 值均小于 0.0001, 说明 G/GO_6 、 G/GO_9 与 b^* 对模型影响是极显著的, 判别分析得到函数的 P 值均小于 0.0001, 所以模型的建立是有意义的。

气味结合颜色的新鲜度等级预测模型为

$$\begin{cases} Y_{\text{一级}} = -21.37 + 38.20G/GO_6 - 5.70G/GO_9 + 1.71b^* \\ Y_{\text{二级}} = -41.38 + 53.41G/GO_6 - 11.86G/GO_9 + 3.75b^* \\ Y_{\text{腐败}} = -96.91 + 59.79G/GO_6 + 2.40G/GO_9 + 6.31b^* \end{cases}$$

G/GO_6 、 G/GO_9 、 b^* 带入上式, 得出的 Y 值最大组即判为该新鲜度等级。

2) 模型的验证及评价

该模型的建模组有 120 组样本, 验证组有 80 组样本。表 4 所示, 建模组的准确率为 97.5%, 验证组的准确率为 98.8%, 说明该模型能够准确对脊尾白虾的新鲜度进行预测分类。

以上 3 种新鲜度模型—颜色、气味以及气味结合颜色, 检测一个样本所需时间分别为 20s、60s 和 80s。在检测过程中, 除了使用到色差仪和电子鼻以外无需其他试剂及器材, 检测成本较低。通过比较 3 个模型的准确率可以看出, 气味结合颜色建立的模型准确率最高, 气味模型次之, 颜色模型最低。综合以上研究得出气味结合颜色的新鲜度预测模型较优。

表 4 基于气味结合颜色的新鲜度等级预测模型的回判、验证结果

Table 4 Discrimination of the training and testing set of the predicted model of freshness of *E. carinicauda* by odor combining color

新鲜度等级	一级	二级	腐败级	总计
建模组				
总样本量/组	40	40	40	120
正确分类量/组	39	38	40	117
错误分类量/组	1	2	0	3
准确率/%	96.7	95.0	100	97.5
验证组				
总样本量/组	28	28	24	80
正确分类量/组	28	27	24	79
错误分类量/组	0	1	0	1
准确率/%	100	96.4	100	98.8

3 结论

1) 通过感官评价与挥发性盐基氮的测定, 确定 4℃ 冷藏条件下的脊尾白虾第 0、1、2 天属于一级新鲜度, 第 3、4 天属于二级新鲜度, 5 天之后 (含第 5 天) 属于腐败级。

2) 通过电子鼻的检测及多元统计分析, 可以准确区分不同新鲜度等级的脊尾白虾, 并筛选出代表新鲜度变化的气敏传感器为 S6、S7、S8、S9、S10。

3) 基于气味或颜色分别建立以及二者结合建立的新鲜度等级预测模型都具有可行性, 其中气味与颜色结合的新鲜度等级预测模型的准确率最高, 平均达到 98.8%, 其次为气味、颜色模型。因此, 气味结合颜色建立的脊尾白虾新鲜度的评价方法, 准确率高、检测时间短、设备便于携带、无需样品前处理, 较适合工业化生产中的新鲜度抽样检测, 生产中可根据实际需要选择相应模型。

[参考文献]

- [1] 刘国艳, 袁庆, 柴春彦. 检测鱼肉新鲜度的酶生物传感器的研制[J]. 中国动物检疫, 2006, 23(1): 28-30.
Liu Guoyan, Yuan Qing, Chai Chunyan. Research on the enzyme-biosensor for detecting fish freshness[J]. Chinese Journal of Animal Quarantine, 2006, 23(1): 28-30. (in Chinese with English abstract)
- [2] 范亚苇, 邓泽元, 张爱芳, 等. 鄱阳野生鱼类脂肪酸含量的比较研究[J]. 食品科学, 2006, 27(12): 597-600.
Fan Yawei, Deng Zeyuan, Zhang Aifang, et al. Comparison of fatty acids in wild freshwater fish of the Poyang Lake[J]. Food Science, 2006, 27(12): 597-600. (in Chinese with English abstract)
- [3] 刘辉, 牛智有. 基于电子鼻的鱼粉中挥发性盐基氮检测模型比较[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 322-326.
Liu Hui, Niu Zhiyou. Comparison of total volatile basic nitrogen detection models in fishmeal based on electronic nose[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(4): 322-326. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘红秀, 李洪波, 李卫东. 基于电子鼻的鱼类新鲜度估计研究[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2010, 49(2): 28-30.
Liu Hongxiu, Li Hongbo, Li Weidong. Research on the fish freshness assessment based on electronic nose[J]. Acta

- Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni, 2010, 49(2): 28—30. (in Chinese with English abstract)
- [5] 张军, 李小昱, 王为, 等. 电子鼻检测鲢鱼新鲜度的试验参数优化[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 129—142.
Zhang Jun, Li Xiaoyu, Wang Wei, et al. Optimization of experiment parameters for using electronic nose to evaluate freshness of silver carp[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 129—142. (in Chinese with English abstract)
- [6] 黄星奕. 一种基于嗅觉可视化检测鱼新鲜度的方法及装置[P]. 中国专利: 201011022347.2011-01-05.
- [7] Agnar H Sivertsen, Takashi Kimiya, Karsten Heia. Automatic freshness assessment of cod (*Gadus morhua*) fillets by Vis/Nir spectroscopy[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 103(3): 317—323.
- [8] 钮伟民, 张敬平, 李芳. 肉类新鲜度快速检测方法[J]. 理化检验: 化学分册, 2006, 42(12): 1032—1034.
Niu Weimin, Zhang Jingping, Li Fang. Rapid determination freshness of meat[J]. Physical Testing and Chemical Analysis: Part B: Chemical Analysis, 2006, 42(12): 1032—1034. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张晓敏, 朱丽敏, 张捷, 等. 采用电子鼻评价肉制品中的香精质量[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 175—178.
Zhang Xiaomin, Zhu Limin, Zhang Jie, et al. Appraisal of meat flavoring essence quality using electronic nose[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(9): 175—178. (in Chinese with English abstract)
- [10] Hammond J, Marquis B, Michaels R, et al. A semiconducting metal-oxide array for monitoring fish freshness[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2002, 84(2): 113—122.
- [11] Ponzoni A, Depari A, Falasconi M, et al. Bread baking aromas detection by low-cost electronic nose[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2008, 130(1): 100—140.
- [12] Limbo S, Sinelli N, Torri L, et al. Freshness decay and shelf life predictive modelling of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) applying chemical methods and electronic nose[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(5): 977—984.
- [13] Connell M, Valdora G, Peltzer G, et al. A practical approach for fish freshness determinations using a portable electronic nose[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2001, 80(2): 149—154.
- [14] Barbri N E, Amari A, Vinaixa M, et al. Building of a metal oxide gas sensor-based electronic nose to assess the freshness of sardines under cold storage[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2007, 128(1): 235—244.
- [15] 佟懿, 谢晶, 肖红, 等. 基于电子鼻的带鱼货架期预测模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 356—360.
Tong Yi, Xie Jing, Xiao Hong, et al. Prediction model of shelf life of *trichiurus haumela* using an electric nose[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(2): 356—360. (in Chinese with English abstract)
- [16] 佟懿, 谢晶, 肖红, 等. 鲳鱼货架期预测模型的电子鼻评价与研究[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 367—374.
Tong Yi, Xie Jing, Xiao Hong, et al. Application of electronic nose in the prediction model of shelf-life of *Pampus argenteus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(3): 367—374. (in Chinese with English abstract)
- [17] 柴春祥, 凌云. 电子鼻检测虾新鲜度的研究[J]. 食品科技, 2010, 35(2): 246—249.
Chai Chunxiang, Ling Yun. Identification of shrimp freshness by electronic nose[J]. Food Science and Technology, 2010, 35(2): 246—249. (in Chinese with English abstract)
- [18] 刘红英. 水产品加工与贮藏[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 22—23.
- [19] 李卫东, 陶妍, 袁琪. 南美白对虾在微冻保藏期间的鲜度变化[J]. 食品与发酵工业, 2008, 11(34): 48—52.
Li Weidong, Tao Yan, Yuan Qi. Changes in freshness of *penaeus vannamei* during partial freezing storage[J]. Food and Fermentation Industries, 2008, 11(34): 48—52. (in Chinese with English abstract)
- [20] GB 2741-94, 海虾卫生标准[S].
GB 2741-94, Hygienic standard for sea shrimp[S].
- [21] 刘明, 潘磊庆, 屠康, 等. 电子鼻检测鸡蛋货架期新鲜度变化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(4): 317—321.
Liu Ming, Pan Leiqing, Tu Kang, et al. Determination of egg freshness during shelf life with electronic nose[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(4): 317—321. (in Chinese with English abstract)

Evaluation of *E.carinicauda* freshness based on odor and color models

Tang Lin, Tu Kang*, Pan Leiqing, Hui Teng, Chen Xiaobo, Xie Yiping, Liu Ming, Liu Peng

(College of Food Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In this paper, the electronic nose and colorimeter were used to evaluate odor and color changes of *E.carinicauda* with different freshness during storage at 4℃. Three models predicting the freshness changing rates of *E.carinicauda* based on odor, color and both two factors were established. The result showed that the color parameter b^* was increased linearly when the freshness decreased. The samples of different freshness could be well distinguished by S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 、 S_{10} sensors of the electronic nose. The three predicting models of freshness were all feasible (average accuracy $\geq 90.0\%$), among which the model of odor combining color obtained the highest forecasting accuracy of 98.8%, followed with odor or color based model. This study provides a new method for *E.carinicauda* freshness evaluation and its freshness can be predicted correctly by the model based on odor and color.

Key words: models, forecasting, agricultural products, electronic nose, colorimeter, freshness, *E.carinicauda*