

贮藏温度对鲐鱼品质的影响研究

郑平安 孙 静 全晶晶 张 亮 刘 文 李 晔 张春丹 苏秀榕

(宁波大学 海洋学院 浙江 宁波 315000)

摘 要: 运用电子鼻检测鲐鱼的挥发性成分变化,并结合化学方法测定挥发性盐基氮、组胺、pH 值以及鲐鱼质构,综合分析低值青皮红肉鱼—鲐鱼在常温、4℃和-20℃下新鲜度及品质变化情况。结果表明,在常温以及4℃贮藏条件下,电子鼻主成分分析(PCA)可以区分不同贮藏天数的鲐鱼,而在-20℃,PCA的累积贡献率只有74.77%,不能有效区分开。在常温贮藏,TVB-N、组胺和pH值各项指标检测第1天,鱼肉即开始发生腐败;在4℃贮藏条件下,第4天开始即发生腐败;在-20℃,鲜度品质未发生大幅降低。随着贮藏时间的延长,鲐鱼各参数总体呈下降趋势。在不同贮藏温度下,TVB-N和组胺随时间延长而增加,且两者之间呈现正相关性。此外,质构测定结果表明低温冻藏可以有效减少鱼肉在贮藏过程中鲜度的降低程度。

关键词: 鲐鱼; 电子鼻; 新鲜度; pH; 组胺; 挥发性盐基氮

EFFECT OF TEMPERATURE ON FRESH QUALITY OF MACKEREL

ZHENG Ping-an SUN Jing Quan Jing-jing Zhang Liang Liu Wen

LI Ye ZHANG Chun-dan SU Xiu-rong

(School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo Zhejiang 315211)

Abstract: In order to take full advantage of mackerel, the changes of freshness and quality of mackerel at different storage conditions (room temperature, 4℃ and -20℃) were investigated. While, the volatile components of mackerel were detected by electronic nose, and volatile basic nitrogen, histamine, pH, and mackerel texture were determined by chemical methods. Results showed that Principal-Component-Analysis (PCA) could distinguish the mackerel which stored at room temperature and 4℃ and different storage days, while the cumulative contribution rate was only 74.77% when stored at -20℃. Results of the TVB-N, histamine, and pH values showed that the mackerel begun to corruption after 1d and 4d, respectively, when stored at room temperature and 4℃; while under -20℃, the freshness of mackerel was not much lower than fresh one. The parameters of mackerel showed a declining trend with storage time. Under different storage temperatures, values of TVB-N and histamine were increased with storage time and positive correlation could be found between them. In addition, the results showed that frozen storage could effectively slow down the decrease of freshness during storage.

Key words: mackerel; electronic nose; freshness; pH; histamine; volatile basic nitrogen

鲐鱼(*Pneumatophorus japonicus*) ,鲭科,鲐属。地 海域均有生产,其中以东海产量最多,伴随着大小黄
方上学名有鲭砖鱼、青花鱼、鲐鲛鱼。鲐鱼在我国各个 鱼、带鱼资源的锐减,鲐鱼现已成为我国主要的经济鱼

收稿日期: 2012-04-20 接受日期: 2012-10-12

基金项目: 宁波市科技局农业与社发重大科技项目(2010C10040), 宁波市教育局重点学科支柱项目

作者简介: 郑平安(1987-),男,浙江省舟山人,硕士,研究方向为水产品加工与贮藏工程。E-mail: zheng_ping_an@126.com

通讯作者: 苏秀榕(1956-),女,辽宁大连人,教授,博导。研究方向为食品科学与工程/生物化学与分子生物学。E-mail: suxiurong@nbu.edu.cn

类之一^[1]。

鱼类及其鱼制品的气味是评价其新鲜度的一种重要手段,也是消费者购买的主要因素之一。鱼体死亡后,由于自身酶的分解作用或各种微生物污染作用,会使鱼体发生变质而引起酸臭,慢慢挥发出腐败性气体^[5]。国内外广泛运用电子鼻技术对各种食品进行多种风味成分分析,且对样品无损伤。如用电子鼻来检测柑橘在不同贮藏时间下的变化,判断它的新鲜度^[2]。Manuela^[3]等运用电子鼻检测分析阿根廷鳕鱼肉的新鲜度,认为可以区分不同贮藏天数的鱼肉。Adriano^[4]等利用气味传感器,通过 GC-MS 分析得到影响鱼类新鲜度的主要特征物质是胺类。杨华^[5]等研究电子鼻对不同储藏温度下美国红鱼气味的判别能力,探索了美国红鱼与电子鼻无损检测间的关系。上述都是利用电子鼻检测鱼类新鲜度,作为一种定性的检测工具,在实际检验过程中仍存在几个问题:样品量少,随机性较大,缺少对各项理化指标的分析。挥发性盐基氮(TVB-N)和生物胺含量常被作为水产品安全的重要监测指标^[6],但在不同水产品种类间含量存在很大差异^[7-8]。近几年,国内外学者分别通过质构仪测定的各个参数的变化,分析不同温度、不同物种对鱼肉质构的影响以及不同部位鱼肉的质构差异,而得到鱼品质变化^[9-11]。本文以鲈鱼作为研究对象,采用电子鼻分析并结合理化指标检测,研究鲈鱼在常温、4℃和-20℃条件下的鲜度变化,也探索 TVB-N 与组胺两者之间存在的关联性,为鲈鱼的贮藏加工提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

新鲜鲈鱼购买于宁波江东水产市场,分别贮藏于常温(测量温度 20℃左右)、4℃和-20℃冰箱中。贮藏时间为 0、1、2、4、6、9 和 13d,取鱼肉样品测定各项新鲜度指标。以 0d 测定鲈鱼指标为空白对照。

1.2 测定方法

1.2.1 pH 值的测定 称取鲈鱼背部肉 2.0g,以 1:10 比例加 4℃的纯水(pH=6.68),利用高速分散器混匀,静置 5min,然后用 pH 计测定。

1.2.2 TVB-N 含量的测定 参照国家水产行业标准 SCT 3032-2007,称取鲈鱼背部鱼肉 10.0g,加入 90mL 高氯酸溶液,均质 2min,置于 250mL 锥形瓶中,静置 30min 后用定性滤纸过滤,取上清液 5mL 通过凯斯定氮仪,测定盐酸消耗量。TVB-N 按下式计算:

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \times c \times 14}{m \times 5/100} \times 100$$

其中 V_1 为样品消耗的盐酸量, V_2 为空白样消耗的盐酸量, mL; c 为标准盐酸浓度($C_{HCl} = 0.0094 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$); 14 为氮的摩尔质量数, $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; m 为样品质量, g; 测定结果用 $\text{mg}/100\text{g}$ 表示。

1.2.3 组胺含量的测定 取鲈鱼肉 1.0g,放入 20mL 带塞试管中,加入 50% 甲醇 5mL。超声波萃取 30min,然后在 60℃水浴中放置 15 min,静置后用移液管移取上清液至 4mL 离心管中,在 6500r/min 下离心 10min,取上清液经 0.22μm 滤膜过滤,利用液相色谱(Agilent 1200,美国)检测。

色谱条件: XDB-C₁₈ 色谱柱(4.6mm × 150mm, 5μm)。紫外检测波长 225nm; 柱温设定 30℃,进样 20μL,流动相 A 为磷酸氢二钠,流动相 B 为乙腈,流速 1mL·min⁻¹。

1.2.4 电子鼻检测挥发性物质 准确称取 1.0g 鱼肉装入 15mL 螺旋塞样品瓶中,静置 1.0h,使瓶内固体与气体部分达到平衡,采用便携式电子鼻(PEN3,德国 AIRSENSE 公司)检测,数据采集时间 100s,清洗时间 800~1000s。

1.2.5 质构检测 鲈鱼去除内脏,腹部切开成两半,取鱼背部肌肉,每个待测样品 5 块及以上。冻鱼选择在 4℃下解冻,按上述方法取样,至解冻完全后测定。利用质构仪测试鱼肉的硬度、韧性、回复性及黏着性,参数设置为:测试前速度 3mm·s⁻¹,测试速率 4mm·s⁻¹,测试后速率 4mm·s⁻¹,测试距离 4mm,测试探头为 P 0.5 S。

1.3 数据分析

采用主成分分析法(PCA)进行分析,两主成分的贡献率超过 85%,即可代表实验原数据的特征^[5],未达到则表示分析有干扰成分作用。本次实验中选取第 100 s 时的采样数据进行 PCA 分析。

上述试验均在 3 次以上,电子鼻数据利用相关软件处理,其余所得数据均利用 Origin 8.0 统计软件进行统计学分析。

2 结果

2.1 不同温度贮藏下鲈鱼肉的 pH 值变化趋势

由图 1 可知,新鲜鲈鱼在常温下贮藏第 1 天,其 pH 值发生一个明显的下降,第 2 天 pH 值开始上升。在 4℃时, pH 值同样呈现出先下降而后上升趋势,而在 -20℃下, pH 虽有下降趋势,却未发生上升,这也同

时能更好说明在低温贮藏下,虽然鲈鱼肉品质有所变差,但是贮藏到一定时间后,其基本物质未发生较大变化。

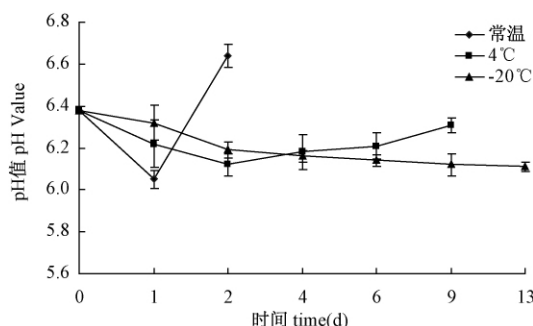


图 1 不同储藏条件下鲈鱼肉 pH 值的变化

Fig. 1 Changes of pH value of mackerel under different storage times and temperatures

2.2 不同贮藏条件下鲈鱼特征气味

对不同储藏条件下鲈鱼进行电子鼻检测,结果如图 2、图 3、图 4、图 5。PCA 图中每个椭圆代表同一个样品批次的数据采集点。从 4 幅图中可以看出,电子鼻可以区分不同储藏温度下鲈鱼的挥发性物质变化;随着贮藏时间的增加,在相同温度下,电子鼻可以区分不同储藏天数鲈鱼样品的挥发性成分。从图 2 可以看出 2 主成分的总贡献率达到 89.46%,说明储藏温度对挥发性物质的影响较大。不同温度下鲈鱼肉中成分的分解速率不同,所引起的挥发性物质变化不同,而且由于温度不同,鱼体水分流失不同,随之挥发性物质变化也不同。常温储藏条件下,电子鼻很好的区分开不同贮藏时间下鲈鱼的挥发性成分。如图 3、4 所示,鲈鱼的挥发性物质在不同贮藏时间内电子鼻的传感器信号发生改变。但图 5 所示,其电子鼻区分不明显,且 1、2 主成分累计值未到 80%,说明在低温贮藏条件下,其鲈鱼的挥发性成分变化幅度小。

2.3 不同贮藏温度下 TVB-N 的变化

从图 6 可以看出,在不同温度条件下,鲈鱼的总挥发性盐基氮含量随着贮藏时间的延长,整体上呈上升趋势。在室温条件下,TVB-N 变化最为明显,其初值为 $10.50\text{mg}\cdot 100^{-1}\cdot \text{g}^{-1}$,当存放到第 2 d,TVB-N 值达到 $50.51\text{mg}\cdot 100^{-1}\cdot \text{g}^{-1}$,是新鲜鲈鱼 TVB-N 值的 5 倍,且也超过国家标准 GB/T 18108-2008 中鲈鱼 TVB-N 三级鲜度的最高限值 ($30\text{mg}\cdot 100^{-1}\cdot \text{g}^{-1}$)。在 4℃ 下贮藏第 4 d 的 TVB-N 值为 $24.71\text{mg}\cdot 100^{-1}\cdot \text{g}^{-1}$,且与第 2 d 测定结果之间差异不显著。TVB-N 值在第 6 d 及 9 d 时分别达到 49.09 、 $52.04\text{mg}\cdot 100^{-1}\cdot \text{g}^{-1}$,且二者之间存在显著性差异。说明鲈鱼在 4℃ 贮藏下,

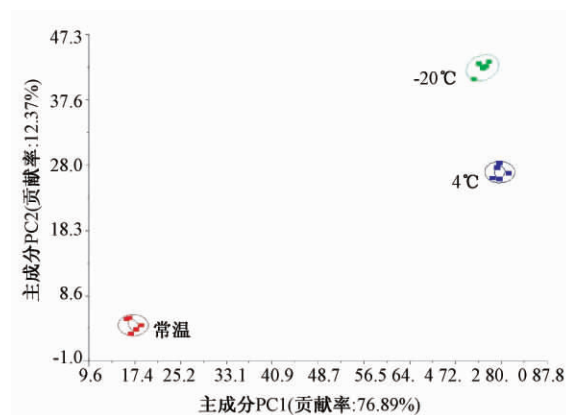


图 2 不同贮藏温度下鲈鱼肉的 PCA 图

Fig. 2 PCA analytical graph for the mackerel stored for different temperature

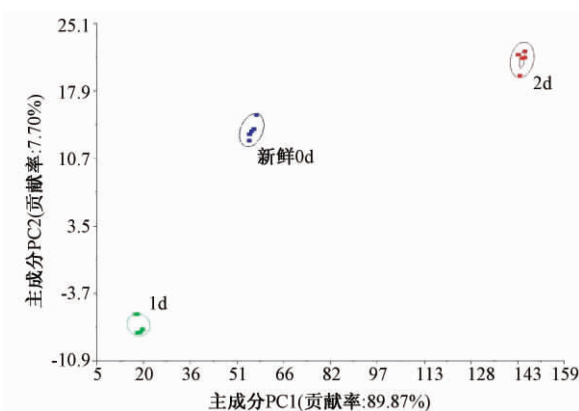


图 3 常温下鲈鱼肉电子鼻 PCA 分析图

Fig. 3 PCA analytical graph for the mackerel stored for room temperature

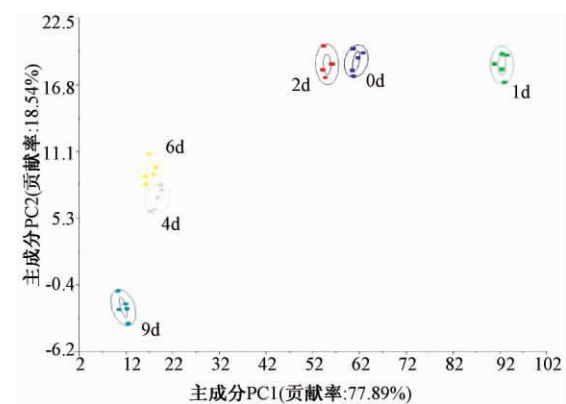


图 4 4℃ 下鲈鱼肉电子鼻 PCA 分析图

Fig. 4 PCA analytical graph for the mackerel stored for 4℃

在第 4~6 d 之间开始发生腐败变质,其 TVB-N 值在第 6 d 也已经超出国家标准。在 -20℃ 下贮藏的鲈鱼肉,其 TVB-N 值随着时间的延长略微有些变化,特别是在第 2 d 后,其值变化幅度较小,各天数之间并没有

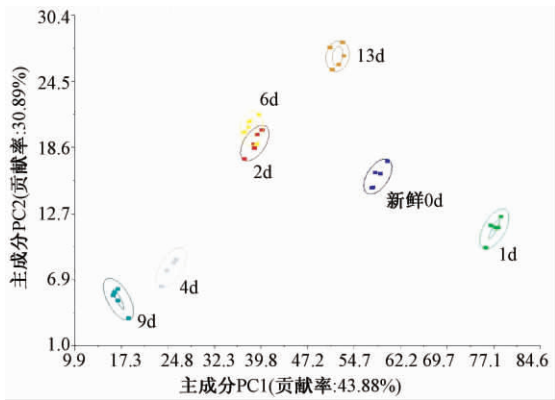


图 5 -20℃ 下鲱鱼肉电子鼻 PCA 分析图

Fig. 5 PCA analytical graph for the mackerel stored for -20 °C

显著性差异。试验表明 TVB-N 值的变化可以反应鱼肉的新鲜度变化。

2.4 不同贮藏温度下组胺的变化

从图 7 可以看出,鲱鱼肉中组胺含量随着时间有相同的趋势增加。室温条件下,鲱鱼肉中组胺含量急剧增加,初值在 $6.15\text{mg} \cdot 100^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$,第 1d 贮藏即增加 $5.4\text{mg} \cdot 100^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$,第 2d 则达到 $31.24\text{mg} \cdot 100^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$,组胺增幅较大,其测定结果 $P < 0.01$,差异性极显著。在 4℃ 冷藏条件下,前 4d 鲱鱼中组胺含量缓慢增加。第 6d 时出现明显的增加趋势,其值为 $10.92\text{mg} \cdot 100^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$,第 9d 则为 $17.82\text{mg} \cdot 100^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$ 。相比室温条件,4℃ 下贮藏到第 9d,其组胺值才到 $17.82\text{mg} \cdot 100^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$,但因其 TVB-N 值已超标,鱼已开始发生腐败,故下面未做测定。在 -20℃ 冷冻条件下,鲱鱼组胺值从初值 $6.15\text{mg} \cdot 100^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$,到 13d 的 $9.08\text{mg} \cdot 100^{-1} \cdot \text{g}^{-1}$,变化幅度相对较小,其中 0d 和第 1 天之间差异极显著,其余测定组间差异性不显著。13d 后的测定也说明鱼肉仍有较好的新鲜度。

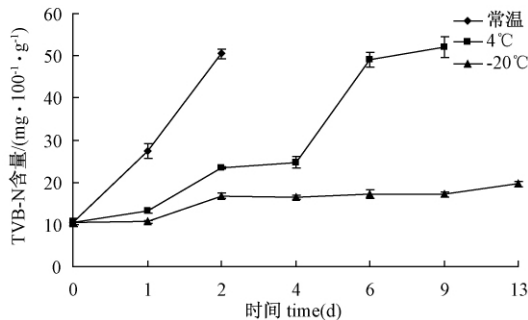


图 6 新鲜鲱鱼肉在不同储藏条件下 TVB-N 随时间变化

Fig. 6 Effect of different storage time and temperature on TVB-N value in fresh mackerel meat

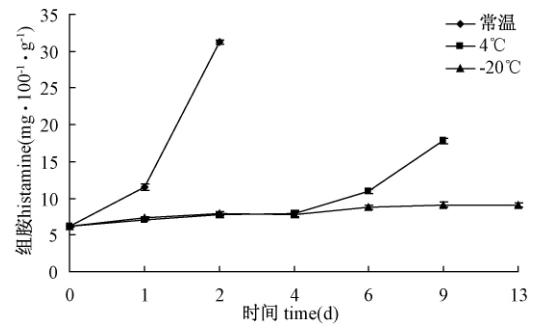


图 7 新鲜鲱鱼肉在不同储藏条件下组胺随时间变化

Fig. 7 Effect of different storage time and temperature on histamine value in fresh mackerel meat

2.5 不同温度贮藏下鲱鱼鱼肉的质构变化

利用质构仪,对鲱鱼鱼肉的硬度、韧性、回复性及黏着性参数测定,从图 7 可以发现,在 3 种不同温度贮藏下,鲱鱼的硬度随着时间的增加,其值均逐渐下降。常温条件下,由于酶活性下降,会导致肌动球蛋白变性,使硬度值下降。而在 4℃ 下,因为酶活性下降缓慢,硬度值下降也较慢,第 6 天鱼肉硬度值发生了一个明显的下降,同时鱼肉开始发生腐败。在 -20℃ 条件下鲱鱼的硬度变化是一个缓慢的下降过程。其主要原因在 -20℃ 冻结过程中,会使鱼肉中游离的水结冰并对肌细胞造成损伤,另外冻结使体积膨胀会导致蛋白质结构变化,从而造成鱼肉硬度下降。

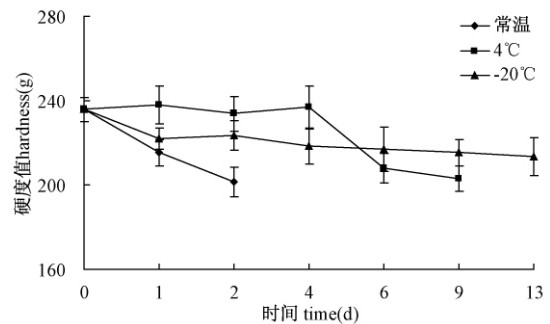


图 8 不同储藏条件下硬度值随时间变化

Fig. 8 Changes of hardness value under different storage times and temperatures

如图 9 所示,在 3 种不同温度贮藏下,鲱鱼的韧性也是一个逐渐下降的过程。在鱼肉硬度降低过程中,细胞之间凝聚力下降,鱼肉的韧性也随之减小。3 种不同温度下,鱼肉韧性都有不同程度下降,这也同样说明随着时间的延长,鱼肉的口感下降。其中在常温下韧性下降的最快,而 -20℃ 下鲱鱼韧性要好于 4℃ 时。

从图 10 看出,鱼肉的回复性随着贮藏时间逐渐下降。常温条件下,下降速率最快。4℃ 贮藏鱼肉在第 4

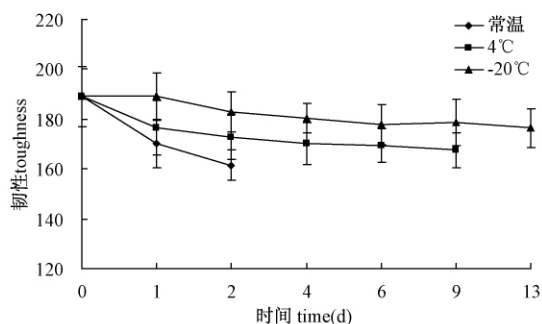


图9 不同储藏条件下韧性值随时间变化

Fig. 9 Changes of toughness values under different storage times and temperatures

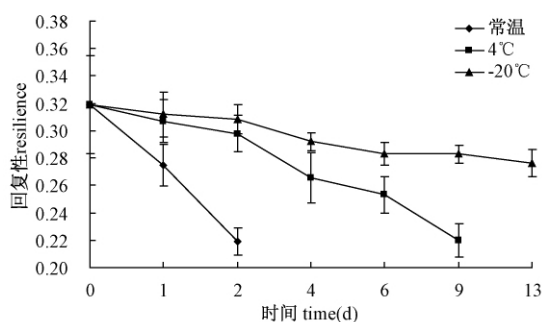


图10 不同储藏条件下回复性随时间变化

Fig. 10 Changes of reply value under different storage times and temperatures

天发生明显下降,之后又出现明显的下降过程,综合前面测定各种因素考虑,第一次下降过程鱼肉还未发生腐败,到第6天的时候才腐败。而-20℃贮藏条件下的鱼肉回复性下降缓慢,鲢鱼鱼肉回复性要好于4℃。

随着贮藏时间延长,在常温及4℃条件下,鲢鱼的黏着性在下降,而-20℃条件下的鱼肉黏着性较平稳变化(图11),这也说明-20℃冷冻贮藏,其鱼肉的品质较好。

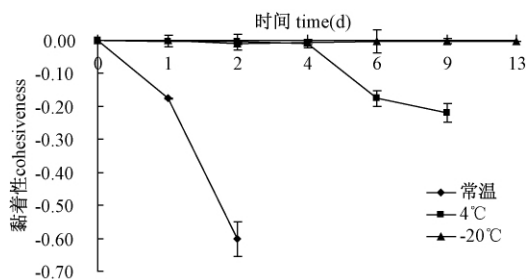


图11 不同储藏条件下黏着性随时间变化

Fig. 11 Changes of adhesion values under different storage times and temperatures

3 讨论

3.1 鲢鱼 pH 与新鲜度关系

pH 值反映鱼肉的酸碱度,对鱼肉的鲜度和鱼肉品质有不同影响。鲢鱼肉质也呈酸性,其在贮藏期间 pH 值随着时间而发生变化,下降原因可能在于鱼肉体 ATP 在自身酶作用下降解,形成磷酸等酸性物质,糖原也会酵解产生酸物质。pH 上升可能在于一些蛋白质、氨基酸等含氮物质分解,产生碱性含氮物使值上升。伴随着酸碱物质的产生,鱼肉品质也随之而变化。在不同温度贮藏下,常温放置时期降解速度较快,而在低温情况下,其 pH 值变化缓慢。

3.2 电子鼻检测鲢鱼的气味与新鲜度关系

在不同贮藏条件下,电子鼻可以灵敏检测鲢鱼挥发性成分的变化;不同储藏温度、储藏时间会影响鲢鱼挥发性物质的变化。用电子鼻可以无损检测鲢鱼的挥发性物质变化,可以评价新鲜度的变化情况。

3.3 鲢鱼 TVB-N、组胺变化与新鲜度关系

TVB-N 是判断鱼类鲜度的主要指标之一,柴春祥^[12-14]等通过对鸡肉、冷藏虾等食品在不同贮藏时间和贮藏温度下的挥发性盐基氮测定,结果表明,随着温度升高、贮藏时间延长其 TVB-N 含量增加。薛秀恒^[15]等也研究了冷藏鱼肉的新鲜度,结果表明 TVB-N 含量随贮藏时间延长而增加。邓德文等^[16]以淡水鱼为研究对象,研究了在不同温度贮藏时鱼肉的 pH 值、ATPase 活性、糖原、乳酸含量变化,肌原纤维蛋白的变性和降解情况及鱼体感官变化,结果显示随着贮藏时间增加,肌原纤维蛋白会降解,pH 会降低,ATPase 对鱼肉新鲜度有影响。TVB-N 的值与细菌和酶有关,肉中的蛋白质会在两者作用下分解而产生氨和胺等碱性含氮物,低温能抑制细菌生长,但是冷藏不能完全抑制,且会随着时间的延长,鱼肉会有自溶,并伴随由细菌产生的蛋白质酶使蛋白质水解,从而使 TVB-N 含量增加。在不同贮藏条件下,TVB-N 会随着温度升高、保存时间的增加而增加。其主要原因是温度升高有利于大多数微生物的生长,而微生物生长繁殖所分泌的蛋白酶与鱼体中蛋白酶共同作用导致蛋白质分解,从而使 TVB-N 含量增加^[17]。

鱼作为一种极具风味但又易腐烂的食品,在鱼发生腐败开始失去食品基本特征的时候,会产生大量的胺,伴随着细菌分解蛋白质和脂肪,微生物会大量生长繁殖,分泌多种酶分解鱼肉组织,产生多种化合物并具有强烈气味,而胺类是主要的分解产物^[18-20]。鲢鱼在

不同温度贮藏期间 TVB-N 含量与组胺含量均随着时间的延长而增加。本研究发现,鲐鱼贮藏期间 TVB-N 含量的变化与组胺含量变化有一定相关性,在常温贮藏期间,TVB-N 值变化趋势与组胺类似。而在 4℃ 时,TVB-N 值和组胺值在贮藏第 4 天到第 6 天显著增加,且两者变化趋势类似。在 -20℃ 两者都未发生较明显增加。

3.4 鲐鱼质构指标与新鲜度关系

硬度、韧性、回复性及黏着性 4 个质构指标,在贮藏期间值都有所下降,其变化趋势所反应的试验结果与上述各个指标均呈现良好的相关性,所测质构指标也均能较好反应出鱼肉的变化情况,可以作为一种鲐鱼鱼肉新鲜度变化的参考。-20℃ 冻结过程,会使鱼肉中游离的水结冰并对肌细胞造成损伤,另外冻结使体积膨胀会导致蛋白质结构变化,从而造成鱼肉硬度下降。而常温以及 4℃ 贮藏时,由于温度增高,ATP 酶活性加快,导致肌球蛋白变性加快,硬度值小于冷冻条件下的鱼肉。4℃ 时候有个骤降过程,这从其他几个理化指标分析比较看出,鲐鱼肉在贮藏到第 4 天时各种指标都处于不好状态,鱼肉也呈现腐败^[21]。

韧性值与硬度值结果相似,它反映的是鱼肉细胞间结合力大小,细胞间结合力减小,则粘着性增大。其原因可能是由于蛋白变性,破坏肌纤维蛋白结构,导致韧性随温度升高而减小,随贮藏时间增长而减小。

回复性是指鱼肉在外力作用下受压变形后的回复能力。冷冻条件下的回复性始终好于常温及 4℃。原因在于常温及 4℃ 下,蛋白变性,细胞间吸引力减小。黏着性也是在于细胞间的结合力,结合力减小,其值增大。

4 结论

对贮藏常温、4℃、-20℃ 的鲐鱼样品,测定其 pH、TVB-N、组胺各值,并利用电子鼻、质构仪分别对样品挥发性物质和鱼肉的物理性质进行检测,综合分析鲐鱼在不同贮藏条件下鱼肉鲜度品质的变化。实验表明低温冻藏能有效减缓鲐鱼贮藏过程中鲜度的降低速率,电子鼻技术快速、准确,并能有效区分鲐鱼在不同贮藏条件下的气味变化。

参考文献:

- [1] 鲍健民. 鲐鱼的营养价值及组胺中毒的预防[J]. 中国食物与营养, 2006 (3): 55
- [2] 胡桂仙, 王 俊, 海 铮. 不同储藏时间柑橘电子鼻检测研究[J]. 浙江农业学报, 2006 (6): 458-461.
- [3] O'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, 2001, 80: 149-154

- [4] Alimelli A, Pennazza G, Santonico M, et al. Fish freshness detection by a computer screen photoassisted based gas sensor array[J]. Analytica Chimica ACTA, 2007, 582: 320-328
- [5] 杨 华, 耿利华. 不同贮藏温度下美国红鱼风味的电子鼻检测研究[J]. 食品科技, 2011 (4): 276-280
- [6] Dhaoui A, Monser L, Sadok S. Validation of a flow-injection-gas diffusion method for total volatile basic nitrogen determination in seafood products[J]. Food Chemistry, 2007, 103 (3): 1049-1053
- [7] Mackie I M, Pirie L, Yamanaka H. Biogenic amine composition of the gonads of herring (*Clupea harengus*), mackerel (*Scomber scombrus*) and scallop (*Pecten maximus*) [J]. Food Chemistry, 1997, 60 (1): 57-59
- [8] Baixas N S, Bover C S, Vidal-Carou M C, et al. Volatiles and nonvolatile amines in Mediterranean Hake as a function of their storage temperature[J]. Food Science, 2001, 66 (1): 83-88
- [9] 刘铁玲, 何新益, 李 昀. 冻藏对鲢鱼-鲤鱼肉质构影响的比较研究[J]. 食品与机械, 2010, 26 (2): 13-18
- [10] Casas C, Martinez O, Guillen M D, et al. Textural properties of raw Atlantic salmon (*Salmo salar*) at three points along the fillet, determined by different methods[J]. Food Control, 2006, 17: 511-515
- [11] Duun A S, Rustad T. Quality of superchilled vacuum packed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets stored at -1.4 and -3.6℃ [J]. Food Chemistry, 2008, 106: 122-131.
- [12] 柴春祥, 施婉君, 蔡 悦, 陈 佳, 王 妍. 电子鼻检测鸡肉新鲜度的研究[J]. 食品科学, 2009 (2): 170-173
- [13] 柴春祥, 凌 云. 电子鼻检测虾新鲜度的研究[J]. 食品科技, 2010 (2): 246-249
- [14] 柴春祥, 杨江林, 艾丽萍, 方素云, 石玮婷, 戚丹莉. 基于电子鼻技术检测猪肉新鲜度的研究[J]. 食品科技, 2010 (12): 282-285
- [15] 薛秀恒, 孟质文, 王志耕, 王菊花, 梅 林, 谢 英. 不同酶处理对冷藏鱼肉的新鲜度与褐变的影响[J]. 食品工业科技, 2011 (4): 330-332, 337
- [16] 邓德文, 陈舜胜, 程裕东, 袁春红. 鲢肌肉在保藏中的生化变化[J]. 上海水产大学学报, 2000, (4): 319-323
- [17] 刘 明, 潘磊庆, 屠 康, 刘 鹏. 电子鼻检测鸡蛋货架期新鲜度变化[J]. 农业工程学报, 2010, (4): 317-321.
- [18] 谢 超, 王阳光, 邓尚贵. 水产品中组胺产生机制及影响因素研究概述[J]. 肉类研究, 2009, (4): 74-78
- [19] 张金彪, 杨筱珍, 范 朋. 两种常见海水鱼高温贮存过程中挥发性盐基氮和生物胺含量变化[J]. 水生生物学报, 2012, 36 (2): 284-290
- [20] Aksnes A, Brekken B. Tissue degradation, amino acid liberation and bacterial decomposition of bulk stored capelin [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1988, 45 (1): 53-60
- [21] 戴志远, 崔雁娜, 王宏海. 不同冻藏条件下养殖大黄鱼肉质构变化的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34 (8): 188-191