

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240222004

东海区市售大黄鱼鲞的品质分析研究

陆健航¹, 李瑞琳², 陈凤美¹, 刘 宇^{1,2}, 姜 维^{1,2*}

[1. 浙江海洋大学食品与药学学院, 舟山 316022; 2. 浙江海洋大学国家海洋设施养殖工程技术研究中心 (创新应用研究院), 舟山 316022]

摘 要: 目的 分析东海区市售大黄鱼鲞的品质, 并探究不同理化指标之间的相关性。**方法** 采集东海区 30 份市售大黄鱼鲞样本, 测定品质相关理化指标, 并进行统计分析、主成分分析和相关性分析。**结果** 30 份大黄鱼鲞的水分含量为 51.59%~79.50%, 盐分为 0.38%~14.47%, 硫代巴比妥酸为 0.79~8.18 mg 丙二醛/kg, pH 为 6.41~7.07, 挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量为 9.17~45.29 mg/100 g, 其中 83.3%的样本水分含量超过 60%, 16.7%的样本盐分超过 10%, 33.3%的样本脂肪氧化水平超过推荐限值, 1 个样本的 TVB-N 含量超标。市售大黄鱼鲞生物胺总量为 4.39~82.28 mg/kg, 其中尸胺的检出率为 80%, 是导致生物胺总量上升的主要生物胺。主成分分析结果表明 TVB-N 和腐胺作为新鲜度指标、盐分和水分含量作为鱼肉成分指标对大黄鱼鲞的品质评价具有显著影响。相关性分析表明大黄鱼鲞盐分与水分含量、盐分与 pH、TVB-N 含量与腐胺、尸胺、酪胺、总生物胺含量具有显著相关性($P<0.05$)。**结论** 市售大黄鱼鲞以高水分产品为主, 存在盐分高、脂肪氧化程度高、新鲜度差和生物胺含量高等问题, 为大黄鱼鲞的品质评价和质量控制提供重要参考。

关键词: 大黄鱼鲞; 品质指标; 生物胺; 相关性分析

Analysis of quality indexes of commercial salted large yellow croaker in the East China Sea

LU Jian-Hang¹, LI Rui-Lin², CHEN Feng-Mei¹, LIU Yu^{1,2}, JIANG Wei^{1,2*}

[1. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China; 2. National Engineering Research Center for Marine Aquaculture (Institute of Innovation and Application), Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China]

ABSTRACT: Objective To analyze the quality of salted large yellow croaker sold in the East China Sea and explore the correlation between various quality indexes. **Methods** The quality indexes of 30 salted large yellow croaker samples collected from the East China Sea were measured, and the results were subjected to statistical analysis, principal component analysis and correlation analysis. **Results** The water content was 51.59%–79.50%, the salt content was 0.38%–14.47%, the thiobarbituric acid reactive substances was 0.79–8.18 mg malondialdehyde/kg, the pH was 6.41–7.07, and the content of total volatile basic nitrogen (TVB-N) was 9.17–45.29 mg/100 g. The water content

基金项目: 国家重点研发计划项目(2020YFD0900900、2021YFD2100504)、浙江省自然科学基金项目(LTGN23C200013)、浙江省舟山市定海科技项目(2022C31007)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2020YFD0900900, 2021YFD2100504), the Zhejiang Provincial Natural Science Foundation of China (LTGN23C200013), and the Dinghai Science and Technology Project (2022C31007)

***通信作者:** 姜维, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全控制。E-mail: jiangw@zjou.edu.cn

***Corresponding author:** JIANG Wei, Ph.D, Professor, Innovative and Application Institute, Zhejiang Ocean University, NO.1, Haida South Road, Lincheng Changzhi Island, Zhoushan 316022, China. E-mail: jiangw@zjou.edu.cn

of 83.3% samples exceeded 60%, the salt content of 16.7% samples exceeded 10%, the fat oxidation level of 33.3% samples exceeded the recommended limit, and the content of TVB-N in one sample exceeded the standard. The total biogenic amine in salted large yellow croaker in East China Sea was 4.39–82.28 mg/kg. The detection rate of cadaverine was 80%, cadaverine was the main biogenic amine causing the total biogenic amine to increase. Principal component analysis showed that TVB-N and putrescine as freshness indexes, and salt and water content as meat composition indexes had significant effects on the quality evaluation of salted large yellow croaker. Correlation analysis showed that the salt and water content, the salt content and pH, the TVB-N content and the content of putrescine, cadaverine, tyramine and total biogenic amine were significantly correlated ($P<0.05$). **Conclusion** The commercial salted large yellow croaker is mainly composed of high moisture products. Some samples has some problems such as high salt content, high fat oxidation degree, poor freshness and high biogenic amine content. This paper provides an important reference for quality evaluation and quality control of salted large yellow croaker.

KEY WORDS: salted large yellow croaker; quality index; biogenic amine; correlation analysis

0 引言

大黄鱼(*Larimichthys crocea*)是我国四大传统海洋鱼类之一,具有重要的经济价值,主要分布在我国的东海以及黄海南部的近海海域^[1]。近年来,大黄鱼的养殖技术和产业规模快速发展,根据 2023 年中国渔业统计年鉴^[2]的数据,2022 年我国大黄鱼海水养殖产量达 25.7 万 t,居全国海水养殖鱼类首位,其中福建地区的产量最高,占全国年产量的 83.5%,其次为浙江,占比为 13.9%。当前,大黄鱼以鲜鱼的消费方式为主,但此方式难以消耗集中收获期的大量成鱼。因此,非常有必要高值化利用大黄鱼资源生产水产制品,满足人们对水产品多样化的要求,从而推动大黄鱼产业的可持续发展。

腌制是常见的水产品加工方式,不仅可以赋予水产品独特的风味,并且有利于水产品的长期贮藏^[3]。大黄鱼鲞是腌制大黄鱼的产品形式,深受沿海地区民众的喜爱^[4]。但目前大黄鱼鲞的生产厂家众多,生产工艺各不相同,生产过程以工人经验操作为主,导致产品品质差异大,并且存在一定食用安全隐患,不利于大黄鱼鲞产品的规范化和标准化。

近年来,市售腌鱼产品的质量安全越来越被重视。赵延宁等^[5]从青岛水产市场购买到 8 个不同咸干鲛鱼产品,对其理化与安全性指标进行测定分析;毛海萍等^[6]对浙东地区市售咸鳓鱼产品中的微生物进行分离培养,测定培养微生物的氨基酸脱羧酶基因以及耐药基因,评估咸鳓鱼的微生物安全性。陶耀宏等^[7]对产地为浙江地区的 4 种常见鱼鲞市售产品的理化、微生物和生物胺指标进行测定分析。但目前鲜见针对大黄鱼鲞的报道,对东海区市售大黄鱼鲞的品质和食用安全性情况缺乏有效监测与评估。

因此,本研究采集了我国大黄鱼主产区(浙江省和福建省)生产和销售的大黄鱼鲞产品,测定其品质相关指标,评估其食用安全性,并探讨不同指标之间的相关性,以发

现当前市场上售卖的大黄鱼鲞产品存在的品质安全问题,加强大黄鱼鲞的安全生产和科学监管,为小黄鱼鲞的标准体系建设、加工工艺改进和标准化生产加工提供依据,保障消费者饮食安全。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

30 份市场售卖的大黄鱼鲞产自浙江省和福建省的不同商家,具体产品信息见表 1。

丹磺酰氯(色谱纯)、色胺、精胺(纯度 $\geq 97\%$)、2-苯乙胺、腐胺二盐酸盐、尸胺二盐酸盐、酪胺、亚精胺三盐酸盐(纯度 $\geq 98\%$)、组胺二盐酸盐(纯度 $\geq 99\%$)(美国 Sigma 公司);甲醇(色谱纯,德国默克公司);丙二醛(malondialdehyde, MDA)测定试剂盒(南京建成生物工程研究所);亚铁氰化钾、乙酸锌、硝酸银、氯化钠、冰乙酸、硼酸、氧化镁、甲基红、溴甲酚绿、浓硫酸、三氯乙酸、碳酸氢钠、碳酸钠、碳酸钾、脯氨酸、丙酮、正庚烷、盐酸、无水乙醇(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.2 仪器与设备

EL-303-IC 电子天平(精度 0.0001 g,上海梅特勒-托利多仪器有限公司);GZX-9140MBE 鼓风干燥箱(上海博讯实业有限公司医疗设备厂);ZDJ-4A 自动电位滴定仪、PHS-3C 酸度计(上海仪电科学仪器股份有限公司);Han-on K9860 全自动凯氏定氮仪(济南海能仪器有限公司);D-160 均质机(北京大龙兴创实验仪器有限公司);YL-200BU 纯水仪(深圳市亿利源水处理设备有限公司);WFJ2000 可见分光光度计(上海尤尼柯仪器有限公司);HC-3018R 冷冻离心机(安徽中科中佳科学仪器有限公司);HH-1 恒温水浴锅(常州国华电器有限公司);Agilent 1260 高效液相色谱仪(美国安捷伦公司);Capcell Pak C₁₈ MGII 色谱柱(150 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m)(日本株式会社资生堂)。

表 1 东海区市售大黄鱼鲞产品信息
Table 1 Product information of salted large yellow croaker sold in the East China Sea

产品编号	生产地	重量/g	包装、贮藏方式
W1	浙江温州	500	散装、冷冻
W2	浙江温州	300	预包装、冷冻
N1	浙江宁波	500	预包装、冷冻
N2	浙江宁波	500	预包装、冷冻
N3	浙江宁波	250	预包装、冷冻
N4	浙江宁波	400	预包装、冷冻
N5	浙江宁波	300	预包装、冷冻
N6	浙江宁波	300	预包装、冷冻
N7	浙江宁波	350	预包装、冷冻
N8	浙江宁波	300	预包装、冷冻
Z1	浙江舟山	250	散装、冷冻
Z2	浙江舟山	300	预包装、冷冻
Z3	浙江舟山	350	预包装、冷冻
Z4	浙江舟山	400	散装、室温
Z5	浙江舟山	500	散装、室温
Z6	浙江舟山	350	散装、冷冻
T1	浙江台州	300	预包装、冷冻
T2	浙江台州	400	散装、冷冻
T3	浙江台州	300	预包装、冷冻
F1	福建宁德	300	预包装、冷冻
F2	福建宁德	300	预包装、冷冻
F3	福建宁德	250	预包装、冷冻
F4	福建宁德	300	预包装、冷冻
F5	福建宁德	250	预包装、冷冻
F6	福建宁德	250	预包装、冷冻
F7	福建宁德	250	预包装、冷冻
F8	福建宁德	300	预包装、冷冻
F9	福建宁德	250	预包装、冷冻
F10	福建宁德	250	预包装、冷冻
F11	福建宁德	250	预包装、冷冻

1.3 方法

1.3.1 水分含量的测定

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中的直接干燥法测定鱼肉的水分含量。

1.3.2 盐分的测定

参照 GB 5009.44—2016《食品安全国家标准 食品中氯化物的测定》中的电位滴定法测定鱼肉的盐分。

1.3.3 硫代巴比妥酸值的测定

采用 MDA 测定试剂盒测定鱼肉硫代巴比妥酸值(thiobarbituric acid reactive substances, TBARS)值, 以每千克鱼肉的 MDA 当量毫克(mg MDA/kg)计。

1.3.4 pH 的测定

参考刘恋等^[8]的方法, 取 2 g 鱼肉加入 20 mL 去离子水, 均质, 振荡 30 min, 8000 r/min、4℃离心 10 min, 取上清液, 在室温下采用酸度计测定 pH。

1.3.5 挥发性盐基氮含量的测定

参照 GB 5009.228—2016《食品安全国家标准 食品中挥发性盐基氮的测定》中的自动凯氏定氮仪法测定鱼肉的挥发性盐基氮(total volatile basic nitrogen, TVB-N)含量。

1.3.6 生物胺的测定和分析

(1) 样品制备和测定

参考 HUANG 等^[9]的方法提取鱼肉中的生物胺, 取 1 g 鱼肉加入 9 mL 的三氯乙酸溶液(5%, m:V), 均质, 8000 r/min、4℃离心 10 min, 取上清液, 重复提取一次, 合并上清液, 去离子水定容至 25 mL 获得提取液。采用丹磺酰氯衍生-高效液相色谱法测定提取液中的生物胺含量^[10]。

(2) 生物胺相关指标

生物胺指数(biogenic amine index, BAI)=腐胺+尸胺+组胺+酪胺; 质量指标(quality index, QI)=(腐胺+尸胺+组胺)/(1+亚精胺+精胺); 总生物胺(total biogenic amine, TBA)=色胺+苯乙胺+腐胺+尸胺+组胺+酪胺+亚精胺+精胺^[7]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2021 进行数据统计, 所有样品作 3 次平行, 结果以平均值±标准偏差表示。采用 Origin 2021 进行主成分分析、Pearson 相关系数相关性分析以及作图, SPSS 22 进行单因素方差分析检验和 Tukey 检验, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 市售大黄鱼鲞基础理化指标分析

2.1.1 市售大黄鱼鲞的水分含量

食品的水分含量与其风味、质地、货架期等密切相关, SC/T 3216—2016《盐制大黄鱼》将水分含量 $\geq 60\%$ 的盐制大黄鱼归类为盐渍大黄鱼, 40%~60%为半干大黄鱼, $\leq 40\%$ 为干大黄鱼。30 份市售大黄鱼鲞的水分含量范围为 51.59%~79.50%(图 1a), 其中 W1、N1、N4、Z4、Z5 水分含量在 40%~60%范围, 视为半干大黄鱼; 其余样本水分含量 $>60\%$, 为盐渍大黄鱼。赵延宁等^[5]调查发现水分含量较高, 盐含量较低的咸干鱼更受年轻人的欢迎。大黄鱼鲞的水分含量主要取决于腌制、晾晒等加工工艺, 近年来为迎合消费者偏好, 厂家倾向于生产高水分含量的低盐大黄鱼鲞产品。

2.1.2 市售大黄鱼鲞的盐分

腌鱼产品中盐分主要源自腌制过程中食盐或腌制液对鱼肉组织的渗透作用, 盐分不仅可以增强腌鱼的感官特性, 而且会降低水分活度, 提高渗透压, 抑制腐败微生物的生长, 从而延长保质期^[11]。如图 1b 所示, 30 份市售大黄鱼鲞的盐分范围为 0.38%~14.47%, 63.3%的样本盐分含量低于 2%, 80%的样本盐分低于 4%, 大黄鱼鲞 W1、N1、N4、Z4 和 Z5 的盐分高于 10%。高钠摄入量已被证明与人体高血压和多种慢性疾病的发生相关, 世界卫生组织建议每天氯化钠的摄入量不超过 5 g^[12]。随着人们健康意识的提高,

降低饮食中氯化钠的摄入是大势所趋,而食用高盐大黄鱼鲞可能会增加人体钠摄入量超量的风险。

2.1.3 市售大黄鱼鲞的 TBARS

大黄鱼中富含多不饱和脂肪酸,极易在加工和贮藏过程中发生脂肪氧化,导致产品的风味、颜色等品质下降^[13]。TBARS 值表征了鱼类脂质二次氧化的程度,可用于评估水产品的品质^[14]。如图 1c 所示,30 份市售大黄鱼鲞的 TBARS 值范围为 0.79~8.18 mg MDA/kg,平均值为 2.53 mg MDA/kg。有报道称优质鱼产品的 TBARS 水平应低于 3 mg MDA/kg^[15],而 33.3%市售大黄鱼鲞样本的 TBARS 值超过这一水平,表明大黄鱼鲞加工和贮藏过程中容易发生脂肪氧化,减少脂肪氧化对提高大黄鱼鲞品质具有重要意义。郭雅^[16]采用湿腌和混合腌制工艺加工的鳊鱼鱼肉的 TBARS 值显著低于干腌工艺。邱文兴等^[17]研究发现,真空包装可通过隔绝鲈鱼与氧气的接触达到减缓脂肪氧化的目的。

2.1.4 市售大黄鱼鲞的 pH

pH 与肉制品的质量和新鲜度密切相关^[18]。鱼死后,鱼肉中的碳水化合物会转化为乳酸导致 pH 下降,而贮藏

过程中含氮化合物会分解为碱性物质导致 pH 升高^[19]。30 份市售大黄鱼鲞的 pH 分布在 6.41~7.07 (图 1d),主要集中在 6.6~6.9 (占 63.3%),说明大部分的大黄鱼鲞 pH 为偏中性。大黄鱼鲞 W1、Z4、Z5 的 pH 较低(<6.5),这可能归因于大黄鱼鲞加工和贮藏期间产酸微生物发酵产生酸性物质^[20]。

2.1.5 市售大黄鱼鲞的 TVB-N 含量

TVB-N 主要由食物中蛋白质和其他含氮化合物在内源酶和微生物的作用下降解产生,是水产和水产制品的质控指标之一,也常用来评估水产品的鲜度^[21]。30 份市售大黄鱼鲞的 TVB-N 含量范围为 9.17~45.29 mg/100 g (图 1e),平均值为 15.71 mg/100 g,TVB-N 值越高表明产品的新鲜度越差,其中 Z5 样本的 TVB-N 含量高达 45.29 mg/100 g,超过 SC/T 3216—2016《盐制大黄鱼》中规定盐制大黄鱼产品的 TVB-N 含量限值(30 mg/100 g),不推荐继续食用。陶耀宏等^[7]的测定数据表明,市售鳊鱼鲞、黄鱼鲞和马鲛鱼鲞的 TVB-N 含量平均值分别为 27.3、28.3 和 19.5 mg/100 g,高于本研究大黄鱼鲞的 TVB-N 含量平均值,推测可能归因于样品种类、产地和采样时间的差异。

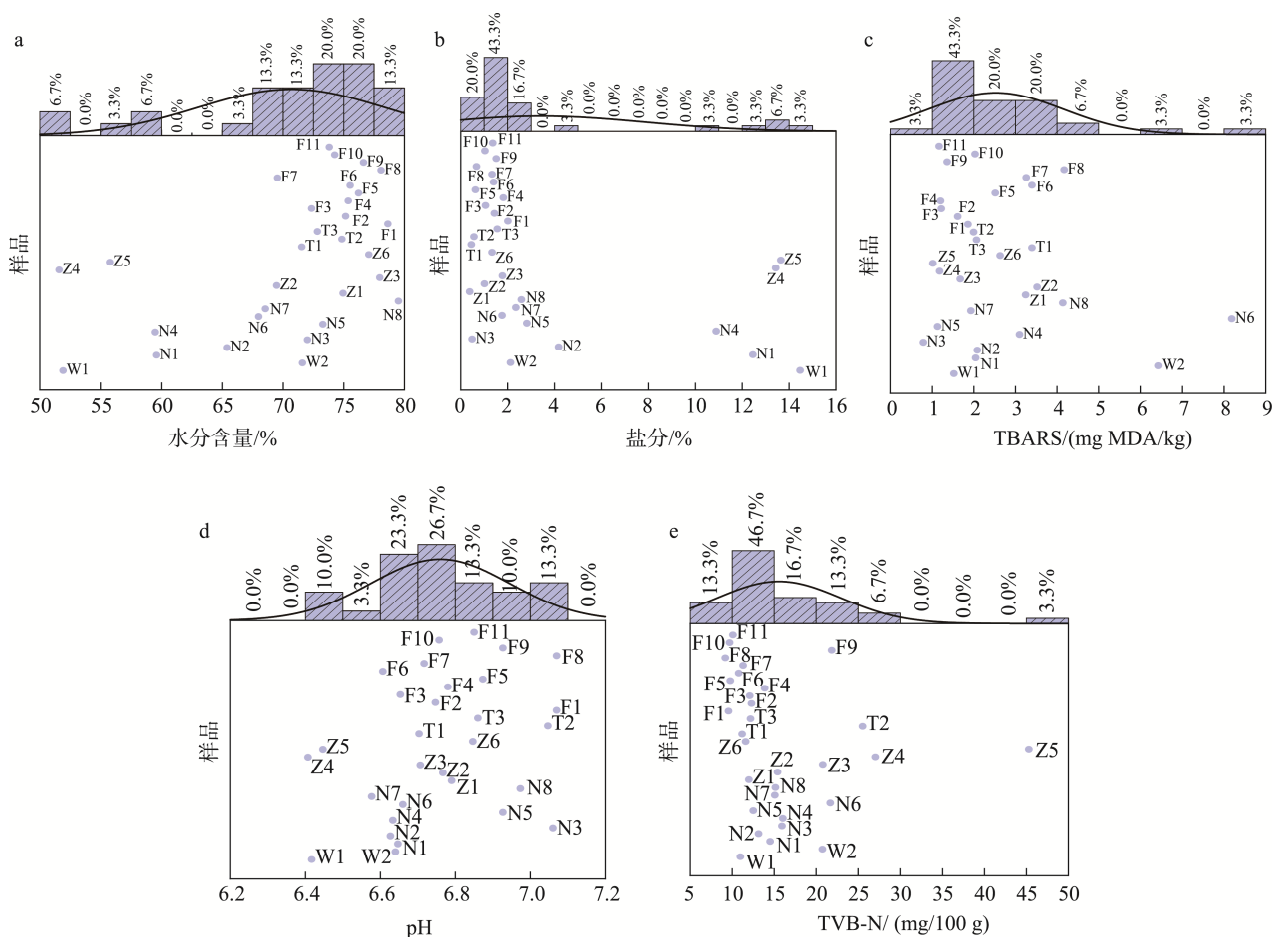


图1 东海区市售大黄鱼鲞的水分含量(a)、盐分(b)、TBARS (c)、pH (d)和TVB-N含量(e)边际直方图

Fig.1 Marginal histogram of water content (a), salt content (b), TBARS (c), pH (d) and TVB-N (e) of commercial salted large yellow croaker in the East China Sea

2.2 市售大黄鱼鲞的生物胺含量和关联指标

生物胺是一类低分子量的含氮有机化合物,主要由食品中的游离氨基酸在脱羧酶作用下产生,过量摄入生物胺会引起人体多种不良反应,生物胺也是食品的重要质量指标^[22-23]。因受原料特性、加工工艺和储运条件等影响,不同大黄鱼鲞的生物胺组成存在差异,30份市售大黄鱼鲞的生物胺含量如表2所示,所有样品均未检测到色胺,其中苯乙胺仅在Z5中检出,说明色胺和苯乙胺不是大黄鱼鲞中常见的生物胺。WU等^[24]调查了中国不同地区生产的43份盐干鱼样本的生物胺含量,样本的苯乙胺和色胺平均含量分别为4.28 mg/kg和1.46 mg/kg,其中15%的样本没有检测到苯乙胺和色胺。

组胺和酪胺是毒性较大的两种生物胺,过量组胺摄入会使机体出现皮肤潮红、荨麻疹、头痛、心率失常及低血压等不良反应,过量酪胺摄入会导致偏头痛、高血压、恶心呕吐等症状^[25]。70%的大黄鱼鲞样本中检出组胺,其含量范围为1.55~6.65 mg/kg,GB 10136—2015《食品安全国家标准 动物性水产制品》中规定非高组胺鱼类的盐渍鱼产品组胺含量不得超过20 mg/kg,所有样本均未超过此限值。因此,相比于富含组氨酸的金枪鱼、秋刀鱼、鲭鱼等青皮红肉鱼类,食用大黄鱼及其制品导致组胺中毒的风险较低。30%的大黄鱼鲞样本中检出酪胺,其含量范围为0.23~2.78 mg/kg,张月等^[26]建议食品中酪胺的含量应低于100 mg/kg,本研究中大黄鱼鲞的酪胺含量远远低于此限值。

腐胺和尸胺不仅有潜在的毒性,还会导致水产品产生异味^[27]。30份市售大黄鱼鲞中腐胺的检出率为50%,含量范围为0.55~5.24 mg/kg,尸胺的检出率为80%,含量范围为0.24~71.93 mg/kg。腐胺和尸胺含量可以指示水产品的鲜度,冯杰等^[28]研究发现,在4℃和25℃贮藏过程中,大黄鱼的腐胺和尸胺含量迅速增长。亚精胺和精胺天然存在于活鱼中,对机体的新陈代谢和细胞生长起到重要作用,其含量会在加工和贮藏过程中发生变化^[29],30份市售大黄鱼鲞的亚精胺和精胺的检出率为100%,含量范围分别为1.11~4.59 mg/kg和1.27~16.87 mg/kg。腐胺、尸胺、精胺和亚精胺在市售大黄鱼鲞中的平均含量分别为0.96、7.99、2.06和6.19 mg/kg,虽然它们毒副作用相对较弱,但却可以通过抑制组胺、酪胺的代谢使之毒性增强,此外,尸胺、腐胺、精胺和亚精胺还能与亚硝酸盐结合形成强致癌性的亚硝胺^[7]。因此,有必要监测大黄鱼鲞加工和贮藏过程中腐胺、尸胺、精胺和亚精胺的含量和产生规律,规范其加工和流通过程。

基于生物胺的相关指标常被用于预测和评价水产品和水产制品的品质^[30]。ÖZOGUL等^[31]研究发现,不同包装沙丁鱼在贮藏过程中的QI和BAI逐渐增大,且与沙丁鱼的感官品质具有良好的相关性。刘寿春等^[32]提出将BAI<20 mg/kg、20~40 mg/kg和>40 mg/kg分别作为冷藏

鱼片新鲜、可接受、腐败状态的范围值,QI=1.5为腐败的临界点。本研究的30份市售大黄鱼鲞中,样本Z3(71.93 mg/kg)和F9(69.04 mg/kg)的BAI大于40 mg/kg,视为腐败;Z5样本BAI为33.36 mg/kg,新鲜度可接受;其余均低于20 mg/kg,新鲜度良好;30%的样本QI>1.5,已腐败,其中Z3(QI=6.27)、Z5(QI=8.34)和F9(QI=10.79)的QI值排前3。30份市售大黄鱼鲞的TBA含量在4.39~82.28 mg/kg,TBA含量最高的3个样本Z3(82.28 mg/kg)、F9(74.22 mg/kg)和Z5(39.58 mg/kg),其尸胺的占比分别为87.4%、83.0%和71.8%,可见尸胺是高生物胺含量大黄鱼鲞中的主要生物胺种类。BAI和QI计算所选取的生物胺种类不同,可能导致在评价水产品品质时的效果存在差异,因此BAI和QI不能用作评价水产品品质的绝对指标^[33],其在预测大黄鱼鲞产品质量中的有效性有待深入评估。一般情况下,人体并不需要从外界补充生物胺,且个体对生物胺的耐受量存在差异,应尽可能控制大黄鱼鲞的生物胺含量,保障其食用安全性。

2.3 主成分分析

主成分分析法是通过确定主成分因子,根据不同样本对主成分的贡献率来评价样本之间规律性和差异性的一种特征提取和数据分析技术,已被广泛用于多学科多元统计分析^[34]。基于样本的水分含量、盐分、TBARS、pH、TVB-N、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺和精胺含量进行主成分分析,结果如表3所示。本研究根据累积贡献率不低于80%的原则,提取到5个主成分,累积贡献率达86.248%。主成分1贡献率为31.118%,特征值为3.423,在分析评价中起着主导作用,其中TVB-N(0.468)、盐分(0.391)、水分含量(-0.366)和腐胺(0.345)载荷值较高,说明新鲜度相关指标(TVB-N和腐胺)和鱼肉成分相关指标(盐分和水分含量)对大黄鱼鲞的品质评价影响显著。第二主成分贡献率为20.914%,特征值为2.300,其中水分含量(0.456)和pH(0.466)载荷值较高并产生正向影响,其次是盐分(-0.386)产生负面影响。第三主成分贡献率为14.169%,特征值为1.559,其中TBARS(-0.549)载荷值最高,其次是精胺(0.536)、亚精胺(0.430)和尸胺(0.342)。第四主成分贡献率为12.274%,特征值为1.350,组胺的载荷值最高(0.585)。第四主成分贡献率为7.773%,特征值为0.855,TBARS(0.612)载荷值最高。

2.4 Pearson相关性分析

大黄鱼鲞的各项指标并不是独立地对品质具有影响,它们之间往往有着密不可分的联系与复杂的相互作用,为分析各个指标之间的关系与影响,对市售大黄鱼鲞的各项品质指标进行相关性分析,如图2所示,结果表明:(1)盐分和水分含量呈显著负相关($P<0.05$),这是因为大黄鱼鲞的腌制是盐分渗入和水分流失的过程,此外,在晾晒过程中,

表 2 东海区市售大黄鱼鲞生物胺含量(以湿基计)

Table 2 Biogenic amines contents of commercial salted large yellow croaker in the East China Sea (based on wet basis)

样品	含量/(mg/kg)							BAI	QI	TBA/(mg/kg)
	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	酪胺	亚精胺	精胺			
W1	ND	1.54±0.35 ^{def}	3.56±0.74 ^c	3.87±0.87 ^{abcd}	ND	1.53±0.36 ^c	3.10±0.36 ^{cfigh}	8.96±1.92 ^c	1.59±0.13 ^{cfig}	13.58±2.74 ^{cdef}
W2	ND	4.45±0.94 ^a	4.86±1.00 ^c	2.45±0.34 ^{bcd}	ND	1.38±0.35 ^c	3.18±0.35 ^{cfigh}	11.76±1.61 ^c	2.11±0.15 ^{de}	16.32±1.99 ^{cdef}
N1	ND	1.05±0.07 ^{cfig}	3.10±0.47 ^c	4.00±0.69 ^{abcd}	ND	2.57±0.43 ^{abc}	6.59±0.20 ^{cdefgh}	8.14±1.22 ^c	0.80±0.08 ^{fighij}	17.30±1.70 ^{cdef}
N2	ND	0.70±0.02 ^{figh}	2.75±0.20 ^c	4.34±0.94 ^{abcd}	0.23±0.20 ^{de}	2.92±1.49 ^{abc}	5.55±1.02 ^{cdefgh}	8.03±0.62 ^c	0.83±0.09 ^{fighij}	16.50±1.63 ^{cdef}
N3	ND	ND	1.85±0.18 ^c	2.59±0.21 ^{bcd}	1.22±0.22 ^c	1.64±0.33 ^c	2.51±0.65 ^{figh}	5.66±0.45 ^c	0.87±0.11 ^{fighij}	9.81±1.42 ^{cdef}
N4	ND	1.38±0.50 ^{cfig}	7.56±3.07 ^c	3.19±0.73 ^{abcde}	0.46±0.32 ^d	2.19±0.62 ^{bc}	4.69±2.55 ^{cdefgh}	12.60±4.09 ^c	1.57±0.20 ^{cfig}	19.48±7.17 ^{cdef}
N5	ND	0.93±0.16 ^{cfig}	10.24±2.29 ^c	2.63±0.25 ^{bcd}	ND	4.59±1.04 ^a	7.88±1.45 ^{bcddefgh}	13.79±2.21 ^c	1.03±0.02 ^{cfighi}	26.26±4.63 ^{bcd}
N6	ND	ND	1.13±0.22 ^c	2.71±1.76 ^{bcd}	ND	1.69±0.26 ^c	1.97±0.34 ^{gh}	3.85±1.54 ^c	0.86±0.44 ^{fighij}	7.51±0.94 ^{cdef}
N7	ND	ND	3.76±0.84 ^c	2.77±2.65 ^{bcd}	ND	1.47±0.39 ^c	1.75±0.38 ^{gh}	6.53±3.20 ^c	1.53±0.62 ^{cfigh}	9.75±3.57 ^{cdef}
N8	ND	2.32±0.39 ^{cd}	3.96±0.62 ^c	5.13±2.13 ^{abc}	ND	1.34±0.30 ^c	1.27±0.08 ^h	11.41±3.13 ^c	3.14±0.65 ^d	14.02±3.44 ^{cdef}
Z1	ND	ND	1.03±0.10 ^c	5.75±2.16 ^{ab}	ND	1.15±0.04 ^c	1.68±0.05 ^h	6.78±2.26 ^c	1.77±0.57 ^{ef}	9.61±2.32 ^{cdef}
Z2	ND	ND	1.77±0.69 ^c	ND	ND	1.49±0.70 ^c	9.20±1.80 ^{bcd}	1.77±0.69 ^c	0.15±0.04 ^j	12.45±12.75 ^{cdef}
Z3	ND	ND	71.93±23.37 ^a	ND	ND	1.97±0.69 ^{bc}	8.38±1.28 ^{bcd}	71.93±23.37 ^a	6.27±1.42 ^c	82.28±24.65 ^a
Z4	ND	1.82±0.35 ^{de}	10.48±1.54 ^c	1.55±1.38 ^{de}	0.48±0.05 ^d	2.44±0.53 ^{bc}	9.09±1.02 ^{bcd}	14.33±3.26 ^c	1.10±0.12 ^{cfighi}	25.85±4.74 ^{bcd}
Z5	3.48±0.08 ^a	2.81±0.17 ^{bc}	28.41±1.78 ^b	ND	2.13±0.04 ^b	1.11±0.21 ^c	1.63±0.10 ^h	33.36±1.99 ^b	8.34±0.19 ^b	39.58±2.26 ^b
Z6	ND	0.55±0.07 ^{gh}	0.24±0.21 ^c	1.84±0.51 ^{cde}	0.24±0.01 ^{de}	2.33±0.20 ^{bc}	8.83±0.46 ^{bcd}	2.86±0.80 ^c	0.21±0.06 ^j	14.03±1.40 ^{cdef}
T1	ND	0.72±0.34 ^{figh}	3.08±0.20 ^c	6.65±1.19 ^a	1.17±0.34 ^c	4.01±0.89 ^{ab}	12.09±3.74 ^{abc}	11.62±0.88 ^c	0.65±0.2 ^{fighij}	27.72±4.75 ^{bc}
T2	ND	3.45±0.51 ^b	4.53±0.56 ^c	2.99±1.15 ^{bcd}	2.78±0.09 ^a	1.91±0.42 ^c	4.81±1.00 ^{cdefgh}	13.75±1.55 ^c	1.45±0.34 ^{cfighi}	20.47±2.19 ^{cdef}
T3	ND	0.64±0.07 ^{gh}	0.71±0.04 ^c	3.67±1.20 ^{abcd}	ND	1.58±0.32 ^c	3.02±0.26 ^{cfigh}	5.02±1.31 ^c	0.91±0.30 ^{cfighi}	9.62±0.87 ^{cdef}
F1	ND	ND	ND	ND	ND	1.94±1.09 ^{bc}	5.19±2.82 ^{cdefgh}	ND	ND	7.13±3.92 ^{ef}
F2	ND	ND	ND	ND	ND	1.35±0.65 ^c	3.05±1.85 ^{cfigh}	ND	ND	4.39±2.49 ^f
F3	ND	ND	ND	ND	ND	1.41±0.35 ^c	5.91±2.75 ^{cdefgh}	ND	ND	7.32±3.06 ^{ef}
F4	ND	ND	4.06±2.28 ^c	ND	ND	1.42±0.70 ^c	5.50±2.56 ^{cdefgh}	4.06±2.28 ^c	0.49±0.07 ^{ghij}	10.98±5.54 ^{cdef}
F5	ND	ND	2.59±0.09 ^c	3.25±1.50 ^{abcde}	ND	3.01±0.36 ^{abc}	16.87±2.09 ^a	5.84±1.53 ^c	0.28±0.06 ^{ij}	25.73±3.44 ^{bcd}
F6	ND	ND	1.11±0.50 ^c	4.24±1.58 ^{abcd}	ND	3.09±0.36 ^{abc}	14.10±8.00 ^{ab}	5.35±1.98 ^c	0.35±0.21 ^{hij}	22.54±10.50 ^{bcd}
F7	ND	ND	ND	2.13±0.72 ^{cde}	ND	2.22±0.76 ^{bc}	9.37±0.57 ^{bcd}	2.13±0.72 ^c	0.17±0.05 ^j	13.72±1.79 ^{cdef}
F8	ND	1.27±0.25 ^{cfig}	ND	2.14±0.62 ^{cde}	ND	2.09±0.17 ^{bc}	4.88±0.75 ^{cdefgh}	3.41±0.51 ^c	0.43±0.09 ^{ghij}	10.38±0.85 ^{cdef}
F9	ND	5.24±0.47 ^a	61.58±6.66 ^a	ND	2.22±0.51 ^b	1.13±0.03 ^c	4.05±0.23 ^{cdefgh}	69.04±6.05 ^a	10.79±0.60 ^a	74.22±6.31 ^a
F10	ND	ND	5.27±0.71 ^c	2.08±1.16 ^{cde}	ND	2.72±0.70 ^{abc}	10.18±1.10 ^{bcd}	7.35±1.83 ^c	0.52±0.08 ^{ghij}	20.25±3.47 ^{cdef}
F11	ND	ND	ND	ND	ND	2.20±0.64 ^{bc}	9.40±1.46 ^{bcd}	ND	ND	11.59±1.57 ^{cdef}

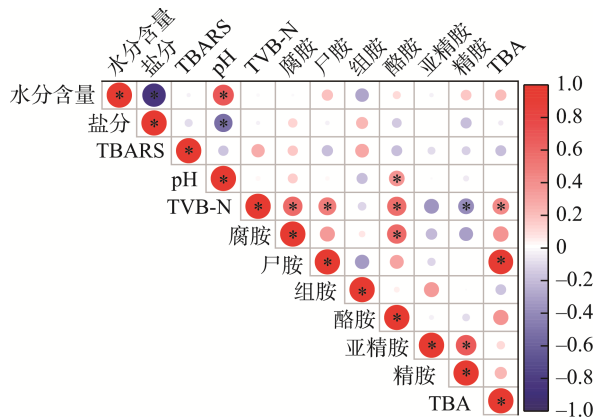
注: ND 表示未检测到, 同一列不同上标小写字母表示有显著差异(P<0.05)。

表 3 东海区市售大黄鱼鲞各品质指标因子载荷矩阵和贡献率

Table 3 Loading matrix and contribution rate of each of quality indexes of commercial salted large yellow croaker in the East China Sea

理化指标	主成分				
	1	2	3	4	5
水分含量	-0.366	0.456	0.009	0.029	0.118
盐分	0.391	-0.386	0.049	-0.047	-0.148
TBARS	-0.101	-0.035	-0.549	0.298	0.612
pH	-0.273	0.466	0.007	0.134	-0.344
TVB-N	0.468	0.111	0.027	0.095	0.182
腐胺	0.345	0.238	-0.078	0.418	0.043
尸胺	0.251	0.285	0.342	-0.016	0.450
组胺	-0.124	-0.274	-0.253	0.585	-0.222
酪胺	0.312	0.301	0.190	0.394	-0.275
亚精胺	-0.228	-0.272	0.430	0.425	0.019
精胺	-0.249	-0.185	0.536	0.169	0.329
特征值	3.423	2.300	1.559	1.350	0.855
贡献率/%	31.118	20.914	14.169	12.274	7.773
积累贡献率/%	31.118	52.032	66.201	78.475	86.248

鱼肉中的水分含量不断降低,使得其他物质(如盐分)在鱼肉中的比例相对增大;(2) pH 与盐分呈显著负相关($P<0.05$),与水分含量呈显著正相关($P<0.05$),推测随着鱼肉盐分的增加,盐-蛋白质相互作用与离子强度增强,蛋白质中的带电基团和亲水基团暴露,从而影响了鱼肉蛋白的 pK_a ,导致 pH 下降^[35],而水分含量的增加使得鱼肉 pH 更偏向中性;(3) TVB-N 含量与腐胺、尸胺、酪胺和 TBA 含量呈显著正相关($P<0.05$),与精胺呈显著负相关($P<0.05$),这是因为 TVB-N、腐胺、尸胺和酪胺都是由大黄鱼鲞在加工贮藏过程中含氮类化合物在内源酶和或微生物作用下降解产生的,对产品新鲜度均具有指示作用^[36],而精胺含量可能会在大黄鱼鲞加工贮藏过程中减少,这与 PALEOLOGOS 等^[37]报道的鲑鱼鱼肉中的亚精胺和精胺含量随着贮藏时间的延长而下降结果相似;(4) TBA 含量与尸胺含量呈显著正相关($P<0.05$),说明尸胺是大黄鱼鲞中主要的生物胺种类,与表 1 的结果一致。根据以上结果可以推测,在加工过程中控制大黄鱼鲞的盐分也会进一步影响产品的水分含量和 pH;降低大黄鱼鲞 TVB-N 含量的控制措施也能有效降低腐胺、尸胺、酪胺以及总生物胺含量。



注: *表示有显著性差异($P<0.05$)。

图2 东海区市售大黄鱼鲞的理化指标Pearson相关性图
Fig.2 Pearson correlation among physicochemical indexes of commercial salted large yellow croaker in the East China Sea

3 结 论

本研究分析了东海区 30 份市售大黄鱼鲞的水分含量、盐分、TBARS、pH、TVB-N 含量和生物胺含量等指标,结果表明,83.3%样本的水分含量 $>60\%$,16.7%样本的盐分含量 $>10\%$,33.3%样本 TBARS 水平 >3 mg MDA/kg,63.3%的样本 pH 在 6.6~6.9,1 个样本(Z5)的 TVB-N 含量(45.29 mg/100 g)超过安全限值。30 份市售大黄鱼鲞均含有精胺和亚精胺,其中 70%样本和 30%样本分别检出低浓度的组胺(0.24~6.65 mg/kg)和酪胺(0.23~2.78 mg/kg),50%样本含有腐胺(0.55~5.24 mg/kg),尸胺(0.24~71.93 mg/kg)在 80%的样本被检出并且是导致个别大黄鱼鲞 TBA 偏高的

主要生物胺。综上,高水分含量大黄鱼鲞是当前市场的主流;大黄鱼鲞加工贮藏过程中盐分控制、脂肪氧化、新鲜度和生物胺控制问题仍需要重视。主成分分析结果表明,TVB-N、盐分、水分含量和腐胺可以作为大黄鱼鲞品质评估的主要指标。Pearson 相关性分析发现,盐分与水分含量、盐分与 pH、TVB-N 含量与腐胺、尸胺、酪胺、总生物胺含量具有显著相关性。基于本研究的结果,今后可通过研发新型加工和保鲜技术来降低大黄鱼鲞的含盐量,抑制 TVB-N 和生物胺的产生,为消费者提供高品质的大黄鱼鲞产品。

参考文献

- [1] 饶从稳,何亮银,林志灯,等. 大黄鱼的营养成分及其加工进展研究[J]. 食品科技,2023,48(12): 113-118.
RAO CW, HE LY, LIN ZD, et al. Research on nutritional composition and processing progress of *Larimichthys crocea* [J]. Food Sci Technol, 2023, 48(12): 113-118.
- [2] 中华人民共和国农业部. 中国渔业统计年鉴 2023[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. China Fishery Statistical Yearbook 2023 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023.
- [3] CORRIAS F, SCANO E, SARAIIS G, et al. Influence of salting technology on the diffusion of NaCl in swordfish (*Xiphias gladius*) fillets [J]. Foods, 2022, 11(2): 164.
- [4] 陶文斌. 低钠盐腌对养殖大黄鱼品质及风味影响研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2019.
TAO WB. Study on the effects of low-sodium salt on the quality and flavor of *Larimichthys crocea* during salting [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2019.
- [5] 赵延宁,王玉,王睿迪,等. 市售咸干鲛鱼的安全性分析[J]. 食品与发酵工业,2019,45(14): 215-220.
ZHAO YN, WANG Y, WANG RD, et al. Safety analysis of commercially available salted and dried Spanish markerel [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(14): 215-220.
- [6] 毛海洋,袁开,金仁耀,等. 基于传统分离培养和高通量测序分析市售咸鳓鱼中微生物多样性[J]. 食品研究与开发,2019,40(21): 193-201.
MAO HP, YUAN K, JIN RY, et al. Study of microbial diversity in commercial salted Chinese herring using culture isolation and high-throughput sequencing [J]. Food Res Dev, 2019, 40(21): 193-201.
- [7] 陶耀宏,汤海青,欧昌荣,等. 市售东海鱼鲞生物胺及相关质量指标分析[J]. 食品工业科技,2021,42(24): 263-270.
TAO YH, TANG HQ, OU CR, et al. Analysis of biogenic amines and related quality indexes of Commercial dry salted fish in the East China Sea [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(24): 263-270.
- [8] 刘恋,苑闪闪,卢素芳,等. 酸性氧化电位水对冷鲜鳊鱼片品质的影响[J]. 食品工业,2023,44(12): 147-151.
LIU L, WAN SS, LU SF, et al. The effect of electrolyzed oxidizing water on the quality of cold fresh mandarin fish fillets [J]. Food Ind, 2023, 44(12): 147-151.
- [9] HUANG QX, JIAO XD, YAN BW, et al. Changes in physicochemical properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi during chilled storage: The roles of spoilage bacteria [J]. Food Chem, 2022, 387: 132847.
- [10] 柳佳娜. 熟制即食南美白对虾常温贮藏特定腐败菌分离及控菌技术研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2021.
LIU JN. Isolation and control of specific spoilage organism from ready-to-eat *Penaeus vannamei* during storage at room temperature [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2021.
- [11] WANG J, HUANG XH, ZHANG YY, et al. Mechanism of salt effect on

- flavor formation in lightly salted large yellow croaker by integrated multiple intelligent sensory and untargeted lipidomics analyses [J]. Food Chem, 2024, 435: 137542.
- [12] RYBICKA I, GONÇALVES A, OLIVEIRA H, *et al.* Salt reduction in seafood—a review [J]. Food Control, 2022, 135: 108809.
- [13] JIAO L, TU CH, MAO JL, *et al.* Impact of theaflavin soaking pretreatment on oxidative stabilities and physicochemical properties of semi-dried large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) fillets during storage [J]. Food Packag Shelf, 2022, 32: 100852.
- [14] ABDEL-NAEEM HH, SALLAM KL, MALAK NM. Improvement of the microbial quality, antioxidant activity, phenolic and flavonoid contents, and shelf life of smoked herring (*Clupea harengus*) during frozen storage by using chitosan edible coating [J]. Food Control, 2021, 130: 108317.
- [15] JO HG, CHILAKALA R, KIM MJ, *et al.* Assessment of the effects of salt and *Salicornia herbacea* L. on physicochemical, nutritional, and quality parameters for extending the shelf-life of semi-dried mullets (*Chelon haematocheilus*) [J]. Foods, 2022, 11(4): 597.
- [16] 郭雅. 不同腌制工艺对风干鲮鱼品质影响研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2016.
- GUO Y. Effects of different curing technology on quality of air-drying *Parabramis pekinensis* [D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2016.
- [17] 邱文兴, 谌玲薇, 杜柳, 等. 真空包装对鲈鱼冰鲜贮藏品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(17): 5570–5577.
- QIU WX, CHEN LW, DU L, *et al.* Effects of vacuum packing on storage quality of chilled *Micropterus salmoides* [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(17): 5570–5577.
- [18] LIU YN, YU YN, MENG QS, *et al.* A fluorescent pH probe for evaluating the freshness of chicken breast meat [J]. Food Chem, 2022, 384: 132554.
- [19] SALLAM KI, AHMED AM, ELGAZZAR MM, *et al.* Chemical quality and sensory attributes of marinated Pacific saury (*Cololabis saira*) during vacuum-packaged storage at 4°C [J]. Food Chem, 2007, 102(4): 1061–1070.
- [20] 张晓艳, 杨宪时, 郭全友, 等. 水分含量对淡腌大黄鱼贮藏性的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(9): 405–407, 416.
- ZHANG XY, YANG XS, GUO QY, *et al.* Effect of moisture content on storage properties in light salted *Pseudosciaena crocea* [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(9): 405–407, 416.
- [21] BEKHIT AEA, HOLMAN BWB, GITERU SG, *et al.* Total volatile basic nitrogen (TVB-N) and its role in meat spoilage: A review [J]. Trends Food Sci Technol, 2021, 109: 280–302.
- [22] JAGUEY-HERNÁNDEZ Y, AGUILAR-ARTEAGA K, OJEDA-RAMIREZ D, *et al.* Biogenic amines levels in food processing: Efforts for their control in foodstuffs [J]. Food Res Int, 2021, 144: 110341.
- [23] AHMAD W, MOHAMMED G, AL-ERYANI D, *et al.* Biogenic amines formation mechanism and determination strategies: Future challenges and limitations [J]. Crit Rev Anal Chem, 2020, 50(6): 485–500.
- [24] WU YY, CHEN YF, LI LH, *et al.* Study on biogenic amines in various dry salted fish consumed in China [J]. J Ocean U China, 2016, 15(4): 681–689.
- [25] GARDINI F, ÖZOGUL Y, SUZZI G, *et al.* Technological factors affecting biogenic amine content in foods: A review [J]. Front Microbiol, 2016, 7: 1218.
- [26] 张月, 裴慧洁, 何维, 等. 发酵食品中酪胺的形成机制及其控制研究进展[J/OL]. 食品科学: 1–14. [2024-05-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20231206.1316.031.html>
- ZHANG Y, PEI HJ, HE W, *et al.* Research progress on the formation mechanism and control of tyramine in fermented food [J/OL]. Food Sci: 1–14. [2024-05-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20231206.1316.031.html>
- [27] HE Y, XIE ZY, XU YR, *et al.* Preservative effect of slightly acid electrolysed water ice generated by the developed sanitising unit on shrimp (*Penaeus vannamei*) [J]. Food Control, 2022, 136: 108876.
- [28] 冯杰, 王徐媛, 傅玲琳, 等. 不同贮藏温度下养殖大黄鱼生物胺等品质变化规律研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(2): 5–12.
- FENG J, WANG XY, FU LL, *et al.* Changes of biogenic amines and other quality indexes in cultured *Pseudosciaena crocea* at different storage temperature [J]. Food Res Dev, 2018, 39(2): 5–12.
- [29] SÁNCHEZ-PARRA M, LOPEZ A, ORDÓÑEZ-DÍAZ JL, *et al.* Evaluation of biogenic amine and free fatty acid profiles during the manufacturing process of traditional dry-cured tuna [J]. Food Bioprocess Technol, 2023, 17: 452–463.
- [30] CAPILLAS CR, HERRERO AM. Impact of biogenic amines on food quality and safety [J]. Foods, 2019, 8(2): 62.
- [31] ÖZOGUL F, ÖZOGUL Y. Biogenic amine content and biogenic amine quality indices of sardines (*Sardina pilchardus*) stored in modified atmosphere packaging and vacuum packaging [J]. Food Chem, 2006, 99(3): 574–578.
- [32] 刘寿春, 钟赛意, 马长伟, 等. 以生物胺变化评价冷藏罗非鱼片腐败进程[J]. 农业工程学报, 2012, 28(14): 277–282.
- LIU SC, ZHONG SY, MA CW, *et al.* Assessment of spoilage progress for chilled tilapia fillets according to biogenic amines changes [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(14): 277–282.
- [33] 杨春婷, 赵晓娟, 白卫东. 肉类中的生物胺形成及其在肉类新鲜度评价中的应用研究进展[J]. 肉类研究, 2017, 31(1): 55–59.
- YANG CT, ZHAO XJ, BAI WD. Formation of biogenic amines during meat storage and their application in assessment of meat freshness [J]. Meat Res, 2017, 31(1): 55–59.
- [34] 牛志雅, 王亚杰, 张高虔, 等. 基于 GC-IMS 技术分析五种市售不同工艺油莎豆油理化品质与风味差异[J]. 食品工业科技, 2024, 45(1): 258–267.
- NIU ZY, WANG YJ, ZHANG GQ, *et al.* Analysis of physicochemical quality and flavor differences of five commercially available tiger nut oils with different processes based on GC-IMS technique [J]. Sci Technol Food Ind, 2024, 45(1): 258–267.
- [35] GREIFF K, AUERSAND IG, ERIKSON U, *et al.* Effects of type and concentration of salts on physicochemical properties in fish mince [J]. LWT-Food Sci Technol, 2015, 64(1): 220–226.
- [36] GALGANO F, FAVATI F, BONADIO M, *et al.* Role of biogenic amines as index of freshness in beef meat packed with different biopolymeric materials [J]. Food Res Int, 2009, 42(8): 1147–1152.
- [37] PALEOLOGOS EK, SAVVAIDIS IN, KONTOMINAS MG. Biogenic amines formation and its relation to microbiological and sensory attributes in ice-stored whole, gutted and filleted Mediterranean Sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Food Microbiol, 2004, 21(5): 549–557.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

作者简介



陆健航, 硕士研究生, 主要研究方向为食品质量与安全控制。

E-mail: 2236165576@qq.com



姜 维, 博士, 教授, 主要研究方向为食品质量与安全控制。

E-mail: jiangw@zjou.edu.cn