

DOI: 10.12131/20200195

文章编号: 2095-0780-(2021)01-0113-07

• 综述 •

腌腊鱼加工技术及质量安全研究进展

陈胜军^{1,2}, 张进伟^{1,3}, 吴燕燕¹, 胡 晓^{1,2}, 马海霞¹, 李春生¹

(1. 中国水产科学研究院南海水产研究所/农业农村部水产品加工重点实验室/国家水产品加工技术研发中心, 广东广州 510300; 2. 三亚热带水产研究院, 海南 三亚 572000; 3. 上海海洋大学食品学院, 上海 201306)

摘要: 腌腊鱼是中国传统水产加工制品, 其风味独特、营养丰富, 深受消费者喜爱。目前, 腌腊鱼加工方式以手工作坊式为主, 机械化、自动化生产程度低, 同时腌腊鱼的质量安全问题也受到消费者广泛关注。文章对近年来国内外腌腊鱼加工技术的研究现状及质量安全等方面内容进行了综述, 并对腌腊鱼加工技术和质量安全的未来发展趋势进行展望, 旨在为腌腊鱼加工技术创新与品质控制提供参考。

关键词: 腌腊鱼; 风味物质; 加工技术; 质量安全

中图分类号: TS 254.4

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Research progress on processing technology and edible safety of salt-cured fish

CHEN Shengjun^{1,2}, ZHANG Jinwei^{1,3}, WU Yanyan¹, HU Xiao^{1,2}, MA Haixia¹, LI Chunsheng¹

(1. South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences/Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/National Research and Development Center for Aquatic Product Processing, Guangzhou 510300, China; 2. Sanya Tropical Fisheries Research Institute, Sanya 572000, China; 3. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306, China)

Abstract: Salt-cured fish is a traditional Chinese aquatic product of unique flavor and rich nutrition, which is highly appreciated by consumers. Nowadays, the processing method of salt-cured fish is mainly manual workshop, with low degree of mechanization and automation. Meanwhile, the quality and safety of salt-cured fish are also widely concerned by consumers. The research status and quality and safety of salt-cured fish processing technology at home and abroad in recent years are summarized. And the future development trend of salt-fish processing technology and quality and safety is prospected, aiming to provide references for the innovation of salt-fish processing technology and quality and safety control.

Key words: Salt-cured fish; Flavor compounds; Processing technology; Quality and safety

中国是水产品生产和贸易大国, 水产品总产量为世界第一, 占世界总产量的 30% 以上。2019 年中国水产品总产量为 6 480 万吨, 干腌制品产量为 152 万吨^[1]。腌腊鱼是传统水产加工食品, 其营养丰富、风味独特、易于保藏, 深

受消费者喜爱, 具有广阔的市场前景。在腌腊鱼加工与贮藏过程中, 蛋白质与脂肪在酶、微生物等作用下发生水解、氧化等一系列反应, 产生挥发性含氮物质、醛酮类化合物等, 从而影响产品质量^[2]。随着人民生活水平提高,

收稿日期: 2020-09-18; 修回日期: 2020-10-27

资助项目: 三亚崖州湾科技城管理局2020年度科技计划项目 (SKJC-2020-02-013); 现代农业产业技术体系专项资金资助 (CARS-47); 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设专项资金 (2020KJ151); 中国水产科学研究院基本科研业务费项目 (2020TD69)

作者简介: 陈胜军 (1973—), 男, 博士, 研究员, 从事水产品加工与质量安全控制研究。E-mail: chenshengjun@scsfri.ac.cn

消费者更加注重食品的营养、卫生、安全等问题,因此腌腊鱼的品质和安全性有待进一步提高。本文重点论述了近年来国内外腌腊鱼的加工工艺,蛋白质、脂肪的变化以及风味物质的形成规律,亚硝胺化合物、生物胺和有害微生物等安全因素方面的研究进展,旨在为腌腊鱼加工技术研发和品质控制提供参考。

1 腌腊鱼加工工艺

腌腊鱼是以鲜、活鱼为原料,经预处理后加入食盐、香辛料等腌制,再干制而成的水产加工食品^[3]。其富含蛋白质、多不饱和脂肪酸等营养物质,腊味浓厚,便于携带,广受消费者喜爱。我国腌腊鱼种类多达100多种,主要产地在山东、湖北、福建、江西等^[1]。

1.1 腌制工艺

1.1.1 传统腌制工艺 腌制是渗透扩散的过程,当鱼体浸入食盐水或与食盐接触,鱼肉中水分渗出,食盐渗入鱼体内,形成动态平衡。盐分的渗入降低了鱼体的水分活度,抑制了微生物生长,从而延长产品的货架期^[4]。腌制速率受多种因素的影响,如鱼的种类、生理状态、腌制方法、腌制时间等^[5]。传统腌制方法有干腌法、湿腌法、混合腌制法。干腌法是将食盐涂抹在原料表面及内部,层层盐进行腌制。该法操作简便,腊味浓厚,但腌制不均匀,色泽较差。郭雅等^[6]发现相较于湿腌、混合腌制,干腌法腌制时间短,鱼肉中盐含量迅速上升,水分含量减少,鱼肉硬度下降,产品含水量低但香味浓厚。湿腌法是将原料浸没在一定浓度的食盐水中,食盐渗入原料内部,最终原料内外部溶液浓度达到平衡的方法。该法腌制均匀,易于控制水分流失,但腌制时间长、风味不佳。研究发现随着腌制时间的延长和盐水浓度的增加,草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的含盐量显著上升,其硬度和咀嚼性先上升后下降,草鱼在8%的盐水中腌制4~8 h后,食用品质最佳^[7]。Gallart-jornet等^[8]研究发现随着盐水浓度增加,鱼片硬度增加,而弹性和持水性下降,与Yang等^[7]研究结果相近。在腌制过程中,鱼肉蛋白质变性,凝胶作用减弱,组织结构致密性增强,因此鱼肉硬度上升、弹性下降。混合腌制是干腌与湿腌相互结合的一种方法。该法腌制营养流失少,咸度适宜,但工艺较为复杂。Martinez-alvarez和Gomez-guillen^[9]在不同湿腌条件下先湿腌后干腌鳕鱼(*Gadus morhua*),发现当盐水质量浓度为180 g·L⁻¹、pH为8.5时,分子量较高的蛋白质易溶出,同时钾离子可以促进鱼肉硬度增加。

1.1.2 新型腌制工艺 为了解决传统腌制方法的卫生、安全等问题,近年来出现了超声波、超高压等辅助腌制方

法,可以加快腌制速率,提高腌腊鱼的品质安全,满足消费需求。Wang等^[10]采用超声波辅助腌制草鱼,发现随着超声波功率的增加,鱼肉肌原纤维断裂,硬度下降,游离氨基酸和不饱和脂肪酸含量下降,饱和脂肪酸含量上升,产品感官评分增加。Filsinger^[11]针对腌制凤尾鱼(*Engraulis anchoita*)建立盐渗动力学,结果表明在131.5 g·cm⁻²压力下腌制的凤尾鱼品质最佳。高压条件下腌制会减缓肉成熟速度,加快渗透速率,抑制细菌生长,但产品风味差;而低压条件下腌制,肉会过熟导致产品质地、风味下降。田其英和王静^[12]采用正交实验优化超声波辅助腌制鲟鱼(*Acipenser sinensis*)片工艺,结果表明超声处理可以提高腌制速率,嫩化鱼肉,提高产品感官品质,当工艺条件为超声频率35 kHz,超声时间80 min,超声功率300 W时,产品品质最佳。此外,在腌制过程中添加酶或发酵剂,会促进腊鱼风味形成,改善腊鱼的感官品质。采用新型腌制工艺生产的产品含盐量低,腊味浓厚,卫生安全,但普遍存在成本高等问题。

1.2 干制工艺

1.2.1 传统干制工艺 干制通过降低食品的水分含量,抑制腐败微生物生长,延长产品货架期,并赋予产品独特的风味与口感。传统干燥方法主要为日光干燥和热风干燥。日光干燥是最经济的方法,但易受灰尘、昆虫等污染及气候条件的限制,难以实现工业化、连续化生产。热风干燥是利用热风加快空气流动,使鱼体中水分迅速蒸发,降低食品中水分含量的方法。该法卫生条件好、操作简单、成本低,但干燥温度高、时间长^[13]。石慧等^[14]采用热风干燥卵形鲳鲅(*Trachinotus ovatus*)鱼片,发现在80℃下干燥4 h,再经70℃干燥2 h后,鱼片质地均一、色泽金黄、硬度上升、饱和脂肪酸含量下降,品质最佳。Sun等^[15]发现采用热泵干燥南极磷虾(*Euphausia superba*),在20~60℃内随温度升高,干燥速率加快,高于65℃时,鱼肉会发生油脂酸败等反应,产生异味。Wu和Mao^[16]发现与微波干燥相比,热风干燥草鱼鱼片在高温作用下蛋白质变性,溶解度下降,脂肪氧化程度增大,鱼片品质较差,而风味差异较小。传统干燥工艺存在产品品质不均一、生产效率低等问题,因此需要研究新型干制技术。

1.2.2 新型干制工艺 近年来,研究学者将冷风干燥、真空冷冻干燥、微波干燥等现代干燥技术应用于腌腊鱼生产研究中,以期提高腌腊鱼产品品质。王延辉等^[17]研究自然、冷风、热风干燥对鳗鲡风味的影响,发现其最佳干燥条件为冷风干燥,风速1.5 m·s⁻¹,温度10℃,水分质量分数45%,同时冷风干燥产品中挥发性风味物质及肌苷酸含

量更高, 风味良好, 与余静^[13]的研究结果相近, 主要是由于低温减缓肌苷酸与蛋白质的降解, 最大限度保证了产品风味。张娜等^[18]研究不同干制工艺对腌腊鱼品质的影响, 发现相较于真空冷冻干燥, 微波干燥产品的亚硝酸盐含量、过氧化值、硫代巴比妥酸值较高。在微波干燥过程中, 产品内外同时受热, 加热速度快, 温度高, 脂肪产生氧化水解反应, 而真空冷冻干燥下低温无氧的条件能够抑制脂肪氧化降解, 因此低温条件有利于产品风味形成及品质控制。随着干燥技术的不断发展, 许多学者探究分阶段干燥或联合干燥对产品的影响, 以期研发新型干燥方式, 提高干燥速率, 改善产品品质。

2 腌腊鱼的品质变化

2.1 蛋白质的氧化与水解

在腌制过程中, 鱼肉中蛋白质在微生物和酶的作用下降解产生多肽、氨基酸等物质。蛋白质降解是形成风味物质的重要途径, 多肽与游离氨基酸是形成腌腊鱼独特风味的前体物质。氨基酸在脱羧酶和脱氨酶的作用下生成挥发性盐基氮、吲哚、组胺、三甲胺等物质, 产生不良风味。张会丽等^[19]在鲈鱼风干过程中发现游离氨基酸总量先上升后下降, 而蛋白质水解指数随温度升高而增加。在腌制过程中, 鱼肉蛋白质在蛋白酶、氨肽酶的作用下生成游离氨基酸, 氨基酸含量增加, 而在干制后期, 氨基酸发生美拉德和 Strecker 反应, 含量下降。在一定的温度范围内, 升高温度加快蛋白质的降解, 蛋白质水解指数升高, 而水解程度过高会导致产品黏性和弹性增加, 硬度减小, 产生异味, 影响产品的质地与风味。

蛋白质发生氧化反应, 空间结构变化, 产生羰基化, 形成分子间二硫键及蛋白质聚合、裂解、交联等。Nguyen 等^[20]发现腌制时间与盐水浓度对蛋白质空间构象具有显著影响。高浓度盐离子使蛋白质变性, 盐溶性蛋白含量与总巯基含量下降, 二硫键含量增加。随着盐含量增加, 靠近蛋白质的水与盐离子结合, 使水分子重排, 蛋白质间相互作用力增强, α -螺旋结构被破坏或转化, 盐溶性蛋白暴露并溶入盐溶液中, 鱼肉中盐溶性蛋白含量减少。陆玉芹等^[21]发现腌鱼制品的羰基含量及疏水性高于冰鲜、香烤类制品, 而巯基含量低, 二硫键含量高。在腌制过程中, 高浓度盐离子使蛋白质的空间结构破坏, 分子展开, 内部的巯基暴露, 易于氧化形成二硫键, 巯基含量减少, 同时分子内疏水性氨基酸残基暴露出来, 表面疏水性基团增加, 蛋白质表面疏水性增大, 溶解度下降。蛋白质的氧化水解影响鱼肉蛋白的结构、鱼肉品质(持水性、硬度、嫩度)等, 因此应在生产过程中采取合理措施(如添加天然抗氧化

剂)控制蛋白质降解, 从而提高产品品质。

2.2 脂肪的氧化与水解

脂质在酸、碱、酶等作用下发生水解, 生成游离脂肪酸, 其中以酶催化降解为主, 酶的种类包括酸性脂肪酶、中性脂肪酶、磷脂酶。刘昌华等^[22]在鲈鱼加工过程中发现内源脂肪水解酶活力总体呈下降趋势, 中性脂肪酶活力下降幅度最大, 但其活力高于其他两种酶, 游离脂肪酸、饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量均增加, 与曹松敏等^[23]研究结果相近, 但测定酶活力差异较大, 可能是原料不同所致。中性脂肪酶在腌制过程中较为稳定, 促进脂肪水解, 产生的游离脂肪酸与醇反应生成挥发性酯, 赋予产品果香味, 但游离脂肪酸含量过高会造成脂质氧化, 影响产品风味。吴燕燕等^[24]研究不同外源脂肪酶对腌鱼的影响, 发现添加 0.01% 的脂肪酶使鱼肉的饱和脂肪酸与单不饱和脂肪酸含量减少, 而多不饱和脂肪酸含量增加, 同时在腌制过程中添加混合酶液会促进风味物质形成, 改善腌腊鱼的风味。

在微生物、高温、酶等因素下, 鱼体中脂肪迅速发生氧化, 生成氢过氧化物, 分解产生醇、醛、酮及低级脂肪酸等, 产生令人不愉快的哈喇味, 引起鱼肉的质地、色泽、风味等变化。在腌腊鱼加工过程中, 脂肪氧化的主要原因是非酶促氧化, 以自动氧化为主。曹松敏等^[23]发现在蓝圆鲈 (*Decapterus maruadsi*) 腌制过程中添加适量盐分可促进脂肪氧合酶活力增加, 加快脂肪氧化分解, 过氧化值与硫代巴比妥酸值显著增加, 而在干制过程中, 随着温度升高, 脂肪氧合酶活力下降, 当脂肪氧化产物生成速率低于降解速率时, 氧化产物含量减少, 过氧化值与硫代巴比妥酸值下降。顾赛麟等^[25]研究发现高温促进脂肪热氧化分解, 光照可以激发光敏化剂, 生成单线态氧, 加快脂肪光氧化, 因此热风光照相较于冷风避光处理的腌腊鱼总脂肪含量低, 而过氧化值与硫代巴比妥酸值较高, 表明其脂肪氧化程度更高。

2.3 挥发性风味物质的变化

鱼肉中蛋白质、脂肪在酶和微生物的作用下发生氧化水解、美拉德反应等一系列化学反应, 产生了挥发性风味物质, 这些物质种类丰富, 包括醛、酮、醇、酯类化合物, 对腌腊鱼的独特风味具有重要贡献。腌腊鱼中挥发性风味物质见表 1。挥发性风味成分的种类和含量受多种因素的影响, 如鱼的种类、生理状态、加工工艺等。丁莫等^[26]研究腌制脆肉鲩鱼片的风味变化, 发现成品中挥发性风味物质主要为己醛、辛醛、壬醛、2-庚烯醛、2-辛烯醛、2-壬烯醛、己醇、1-辛烯-3-醇等, 其中 1-辛烯-3-醇相对气味活度值高、阈值低, 对产品风味具有贡献, 而醛类化合

表1 腌腊鱼中挥发性风味物质^[25-26,28]

Table 1 Volatile flavor compounds of salt-cured fish

种类 Species	挥发性风味物质 Volatile flavor compound	风味 Flavor
醛 Aldehyde	己醛 Hexanal	青草味、脂肪味
	庚醛 Enanthal	油脂味、鱼腥味
	辛醛 Octanal	青草味、油脂味
	壬醛 Nonanal	青草香味
	3-甲基丁醛 3-methylbutanal	苹果味
	2-己烯醛 2-hexenal	苹果花香味
	苯甲醛 Benzaldehyde	坚果香、水果香
醇 Alcohol	己醇 Hexanol	脂肪味
	1-戊醇 1-pentanol	酒香、醚香
	1-戊烯-3-醇 1-penten-3-ol	草香味
	2-戊烯-1-醇 2-penten-1-ol	水果味
	1-辛烯-3-醇 1-octene-3-ol	青草味、蘑菇香味、泥土味
酮 Ketone	2-庚酮 2-heptanone	蓝莓味
	1-戊烯-3-酮 1-penten-3-one	番茄味
其他 Others	三甲胺 Trimethylamine	鱼腥味
	2-乙基呋喃 2-ethylfuran	焦香味

物种类多、阈值小，赋予产品青草味、脂肪味等，影响产品的风味。刘昌华等^[27]发现鲈鱼在腌制风干过程中随着鱼肉氧化程度增加，醛、酮、酯类化合物含量增加，而醇类和烃类化合物减少，产品的主要挥发性成分为己醛、2-己烯醛、2-辛烯醛、1-辛烯-3-醇等，与丁莫等^[26]的研究结果相近。顾赛麟等^[25]从不同干制方式处理的腌腊鱼中共检出 82 种挥发性风味物质，筛选出 14 种气味活性物质，发现不同干制方法会影响产品风味，同时光照可以促进香味物质生成。Alfonzo 等^[28]在盐腌凤尾鱼中检测出 22 种挥发性物质共 5 类，按含量大小依次为醛、醇、酮、烃、呋喃类化合物。腌腊鱼的独特风味深受消费者喜爱，但三甲胺、尸胺等产生鱼腥味、腐臭味，影响产品风味。

3 腌腊鱼的安全

3.1 亚硝酸盐和亚硝胺

亚硝酸盐不仅有发色作用，而且能够抑制细菌生长，延长产品货架期，改善食品风味，但人体摄入过量的亚硝酸盐，血液中亚铁血红蛋白被氧化成高铁血红蛋白，失去氧气运输能力，导致血液中氧含量下降，造成缺氧、呼吸困难、血管扩张等症状^[29]。在腌制过程中，硝酸盐在微生物的作用下转化为亚硝酸盐，进而与胺类或酰胺类物质反

应生成具有致癌性的亚硝基化合物。杨贤庆等^[30]发现当盐鱼比一定时，相较于 4 ℃，25 ℃下腌制鱼肉中的亚硝酸盐含量峰值高且出现时间早，主要原因为室温下硝酸还原菌活力较高，加快硝酸盐转化为亚硝酸盐所致；当温度一定时，盐鱼比越大，鱼肉中亚硝酸盐峰值含量较低，因为高盐浓度抑制了硝酸还原菌的活性，亚硝酸盐生成量减少，而对亚硝酸还原酶活性影响较小，亚硝酸盐分解量基本不变，两者差值变小，因此亚硝酸含量减少。Lerfall 和 Sterlie^[29]发现在腌鱼过程中，随腌制时间增加，亚硝酸盐含量上升，且与氯化钠含量具有显著相关性。

亚硝胺是一类 N-亚硝基化合物，包括二甲基亚硝胺、二乙基亚硝胺、吡咯烷亚硝胺等，其可由两种途径反应生成：1) 在弱酸条件下亚硝酸盐与胺或其他含氮物质反应生成；2) 活性亚硝基试剂与二级胺或三级胺反应生成^[31-32]。亚硝胺具有致畸、致癌和致突变作用，当人体内亚硝胺过量时，会诱发癌变，造成鼻炎癌、食道癌、胃癌等。孙瑛等^[33]在海水鱼腌制过程中发现不同盐鱼比条件下，N-亚硝胺的含量均为先上升后下降，在第 15 天时达到峰值，且嗜冷杆菌属占比与 N-亚硝胺含量变化趋势相同，两者可能具有一定相关性。《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762—2017) 中规定水产动物及其制品中

N-二甲基亚硝胺质量分数不超过 $4\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 在腌腊鱼加工过程中, 可以通过控制腌制时间、盐含量或添加亚硝胺抑制剂等措施, 降低亚硝胺含量, 确保产品质量安全。

3.2 生物胺

生物胺是一类含氮的具有生物活性的小分子有机化合物, 包括尸胺、色胺、组胺等, 其中尸胺、腐胺、精胺、亚精胺可与亚硝酸盐反应生成致癌性的亚硝胺^[34]。不同的生物胺及前体物质见表 2。生物体内的生物胺主要是由氨基酸在氨基脱羧酶的作用下产生, 是生物体正常生理成分, 但当人体摄入过量的生物胺会产生头疼、恶心、红疹等过敏反应^[35]。Mohamed 等^[36]发现在腌制过程中游离氨基酸与生物胺含量显著增加, 尸胺由 $22\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 增加到 $997\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 约占总生物胺含量的 61%, 可能是由于微生物作用及赖氨酸降解造成。Zhang 等^[37]研究盐浓度对鲤 (*Cyprinus carpio*) 品质的影响, 发现食盐可以抑制生物胺的产生, 高盐浓度有利于延长产品的货架期。食盐浓度升高, 渗透速度加快, 鱼体中盐含量迅速增加, 导致产胺菌及脱羧酶活性降低, 最终使生物胺含量降低。吴燕燕等^[38]发现腌制带鱼成品中游离氨基酸与生物胺含量增加, 尸胺增加了 157 倍, 与 Mohamed 等^[36]的研究结果类似, 同时发现乳酸菌既能促进生物胺产生, 又对组织性胺类物质具有降解作用。游离氨基酸作为生物胺的前体物质, 与生物胺显著正相关, 同时生物胺的产生受多种因素的影响, 如微生物、水分、盐度、腌制工艺等。

3.3 有害微生物

水产品中常见食源性致病菌有沙门氏菌 (*Salmonella*)、金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)、李斯特菌 (*Listeria monocytogenes*)、副溶血性弧菌 (*Vibrio parahaemolyticus*) 等, 能够对人体造成不同程度的危害。微球菌、链球菌、假单胞菌属等会造成肉质发粘, 同时代谢产生甲酸、乙酸等挥发性物质, 使产品具有异味。蔡秋杏等^[39]

研究带鱼 (*Trichiurus lepturus*) 与蓝圆鲀在腌干过程中菌相变化, 发现两种原料中均含有弧菌科、希瓦氏菌科、假单胞菌科、肠菌科 4 种腐败菌, 随着腌制时间增加, 腐败菌明显减少, 只有弧菌科为优势腐败菌, 表明腌制加工可抑制腐败微生物的生长。嗜盐细菌能够使腊鱼表面产生红色或褐色, 产品感官品质下降。Lorentzen 等^[40]购买了 5 种不同品牌的盐腌鲱鱼, 研究其在不同贮藏温度下嗜盐细菌及理化特性的变化, 发现 35 ℃ 条件下贮藏 14 d 后 5 种鲱鱼均含有嗜盐细菌, 而 35 d 后嗜盐细菌数量为 $7\text{ lg CFU}\cdot\text{g}^{-1}$, 属于指数期, 在嗜盐细菌蛋白水解酶和其他酶作用下, 腊鱼产生脂质氧化反应, 产品品质下降, 而在 4 ℃ 下贮藏 35 d 后嗜盐细菌数量较少, 产品感官和理化性质稳定。为了减少腌腊鱼中的有害微生物污染, 确保产品安全性, 常用杀菌方式有超高温瞬时杀菌、微波杀菌、低温杀菌、紫外杀菌等。

4 前景与展望

腌腊鱼作为一种传统加工制品, 深受消费者喜爱, 具有广阔的发展前景。目前, 国内外学者的研究主要集中在加工工艺优化、品质变化规律、风味成分分析、菌落变化等方面, 但仍有许多方面研究不足。

首先, 应深入研究食盐渗透机理, 了解腌制机制, 针对传统腌制法产品品质较差而新型腌制方法成本高的问题, 应研发新型腌制技术, 优化工艺参数。采用其他金属盐代替氯化钠, 开发新型腌制剂配方, 使产品在保持低盐含量同时留存腌腊鱼特有的风味。其次, 在腊鱼干制过程中, 水分内外扩散速率不同, 导致表面形成硬壳, 产品内部水分迁移速率减缓, 可通过间歇干燥或联合干燥, 加快干制速率, 提高产品品质, 进而实现连续化、工业化生产, 满足市场需求。腊鱼在加工生产中, 蛋白质、脂肪的变化影响产品品质, 通过研究蛋白质、脂肪降解产物如游

表2 不同的生物胺及前体物质

Table 2 Different biogenic amines and precursors substances

种类 Species	生物胺 Biogenic amine	分子式 Molecular formula	前体物质 Precursor substance
脂肪族 Aliphatic	腐胺 Putrescine	$\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2$	鸟氨酸 Ornithine
	尸胺 Cadaverine	$\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2$	赖氨酸 Lysine
	精胺 Spermine	$\text{C}_{10}\text{H}_{26}\text{N}_4$	精氨酸 Arginine
	亚精胺 Spermidine	$\text{C}_7\text{H}_{19}\text{N}_3$	精氨酸 Arginine
芳香族 Aromatic	酪胺 Tyramine	$\text{C}_8\text{H}_{11}\text{NO}$	酪氨酸 Tyrosine
杂环胺 Heterocyclic amine	组胺 Histamine	$\text{C}_5\text{H}_9\text{N}_3$	组胺酸 Histidine
	色胺 Tryptamine	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_2$	色氨酸 Tryptophan

离氨基酸、脂肪酸等与风味物质的变化与相关性,了解风味物质的形成机理,采用合理措施如添加抗氧化剂、外源酶、风味增强剂等,改善产品品质。最后,腌腊鱼的安全问题广受消费者关注,过量的亚硝酸盐及胺类物质会对人体造成危害,应采用天然提取物如茶多酚、竹叶抗氧化物或筛选有利于降解亚硝酸盐或胺类的微生物添加在生产过程中,以提高产品的安全性。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国农业农村部渔业渔政管理局. 2019 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 17-92.
- [2] 叶路漫. 加工工艺对风干金鲳鱼制品品质作用的研究 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019: 2-3.
- [3] 余静, 张佳敏, 王卫, 等. 干燥工艺对腌腊鱼品质特性的影响 [J]. 食品研究与开发, 2019, 40(12): 95-102.
- [4] CZERNER M, TOMÁS C M, YEANNES I M. Ripening of salted anchovy (*Engraulis anchoita*): development of lipid oxidation, colour and other sensorial characteristics[J]. J Sci Food Agric, 2010, 91(4): 609-615.
- [5] MARIUTTI L R B, BRAGAGNOLO N. Influence of salt on lipid oxidation in meat and seafood products: a review[J]. Food Res Int, 2017, 94: 90-100.
- [6] 郭雅, 卞欢, 江芸, 等. 不同腌制方式对风干鳊鱼理化指标的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(14): 272-276.
- [7] YANG W X, SHI W Z, QU Y H, et al. Research on the quality changes of grass carp during brine salting[J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(6): 2968-2983.
- [8] GALLART-JORNET L, BARAT J M, RUSTAD T, et al. Influence of brine concentration on Atlantic salmon fillet salting[J]. J Food Eng, 2007, 80(1): 267-275.
- [9] MARTINEZ-ALVAREZ O, GOMEZ-GUILLEN M C. Effect of brine salting at different pHs on the functional properties of cod muscle proteins after subsequent dry salting[J]. Food Chem, 2006, 94(1): 123-129.
- [10] WANG T, NING Z X, WANG X P, et al. Effects of ultrasound on the physicochemical properties and microstructure of salted-dried grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. J Food Process Eng, 2018, 41(1): 1-9.
- [11] FILSINGER B E. Effect of pressure on the salting and ripening process of anchovies (*Engraulis anchoita*)[J]. J Food Sci, 1987, 52(4): 919-921.
- [12] 田其英, 王静. 超声波辅助腌制鲳鱼片的工艺优化研究 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(23): 219-221, 227.
- [13] 余静. 传统腌腊鱼加工工艺优化及其对产品特性的影响 [D]. 成都: 成都大学, 2019: 7-8.
- [14] 石慧, 杨少玲, 吴燕燕, 等. 卵形鲳鲹鱼片热风干燥条件优化及其品质特性研究 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(17): 129-135.
- [15] SUN D W, CAO C, LI B, et al. Study on combined heat pump drying with freeze-drying of Antarctic krill and its effects on the lipids[J]. J Food Process Eng, 2017, 40(6): e12577.
- [16] WU T, MAO L C. Influences of hot air drying and microwave drying on nutritional and odorous properties of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets[J]. Food Chem, 2008, 110(3): 647-653.
- [17] 王延辉, 杨文鸽, 徐培芳. 干燥条件对鳊鱼风味成分的影响 [J]. 食品科学, 2012, 33(2): 11-15.
- [18] 张娜, 熊善柏, 赵思明. 工艺条件对腌腊鱼安全性品质的影响 [J]. 华中农业大学学报 (自然科学版), 2010, 29(6): 783-787.
- [19] 张会丽, 徐翔, 张弘, 等. 鲈鱼风干成熟工艺及对蛋白质水解和感官品质影响 [J]. 食品科学, 2010, 31(16): 47-51.
- [20] NGUYEN M V, THORARINSDOTTIR K A, GUDMUNDSDOTTIR A, et al. The effects of salt concentration on conformational changes in cod (*Gadus morhua*) proteins during brine salting[J]. Food Chem, 2011, 125(3): 1013-1019.
- [21] 陆玉芹, 颜明月, 陈德慰, 等. 鱼类加工制品蛋白质氧化程度分析 [J]. 食品科学, 2015, 36(19): 55-59.
- [22] 刘昌华, 章建浩, 王艳. 鲈鱼风干成熟过程中脂质分解氧化规律 [J]. 食品科学, 2012, 33(5): 13-18.
- [23] 曹松敏, 吴燕燕, 李来好, 等. 蓝圆鲹传统腌干过程中内源脂肪酶和脂质降解氧化的变化分析 [J]. 食品科学, 2017, 38(7): 36-42.
- [24] 吴燕燕, 赵志霞, 李来好, 等. 添加外源酶类对腌制罗非鱼品质的影响 [J]. 南方水产科学, 2018, 14(4): 102-111.
- [25] 顾赛麒, 周洪鑫, 郑皓铭, 等. 干制方式对腌腊草鱼脂肪氧化和挥发性风味成分的影响 [J]. 食品科学, 2018, 39(21): 1-10.
- [26] 丁莫, 林婉玲, 李来好, 等. 脆肉鲩鱼片加工过程中风味变化的研究 [J]. 食品工业科技, 2018, 39(2): 22-27, 39.
- [27] 刘昌华, 王艳, 章建浩, 等. 固相微萃取-气质联用法测定鲈鱼风干成熟工艺过程中的挥发性化合物变化 [J]. 食品科学, 2013, 34(10): 250-254.
- [28] ALFONZO A, GAGLIO R, FRANCESCA N, et al. Influence of salt of different origin on the microbiological characteristics, histamine generation and volatile profile of salted anchovies (*Engraulis encrasicolus* L.)[J]. Food Control, 2018, 92: 301-311.
- [29] LERFALL J, STERLIE M. Use of sodium nitrite in salt-curing of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.): impact on product quality[J]. Food Chem, 2011, 124(3): 759-766.
- [30] 杨贤庆, 樊丽琴, 陈胜军, 等. 咸鱼干腌过程中亚硝酸盐和硝酸盐的含量变化及其相关性分析 [J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(10): 55-58.
- [31] 邓思杨, 石硕, 董依迪, 等. 肉制品中亚硝胺形成机制及植物源提取物对其阻断效果的研究进展 [J]. 食品科学, 2019, 40(3): 317-322.
- [32] 陈胜庆, 杨贤庆, 李来好, 等. 蓝圆鲹在腌制过程中 N-二甲基亚硝胺和 N-二乙基亚硝胺的变化规律 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(11): 59-63.
- [33] 孙瑛, 王萍亚, 黄朱梁, 等. 海水鱼腌制过程细菌群落和 N-亚硝胺变化分析 [J]. 食品科技, 2018, 43(12): 154-160.

- [34] MARTÍN-SÁNCHEZ A M, CHAVES-LÓPEZ M, SENDRA E, et al. Lipolysis, proteolysis and sensory characteristics of a Spanish fermented dry-cured meat product (salchichón) with oregano essential oil used as surface mold inhibitor[J]. *Meat Sci*, 2011, 89(1): 35-44.
- [35] 孔春丽, 王回忆, 罗永康. 低盐低糖处理鲟鱼片冷藏过程中品质变化规律 [J]. *南方水产科学*, 2016, 12(2): 95-101.
- [36] MOHAMED R, LIVIA S S, HASSAN S, et al. Changes in free amino acids and biogenic amines of Egyptian salted-fermented fish (Feseekh) during ripening and storage[J]. *Food Chem*, 2009, 115(2): 635-638.
- [37] ZHANG Y, QIN N, LUO Y, et al. Effects of different concentrations of salt and sugar on biogenic amines and quality changes of carp (*Cyprinus carpio*) during chilled storage[J]. *J Sci Food Agric*, 2015, 95(6): 1157-1162.
- [38] 吴燕燕, 陈玉峰, 李来好, 等. 带鱼腌制加工过程理化指标、微生物和生物胺的动态变化及相关性 [J]. *水产学报*, 2015, 39(10): 148-157.
- [39] 蔡秋杏, 吴燕燕, 李来好, 等. 基于 Illumina MiSeq 技术比较二种多脂鱼在腌干过程中的菌相变化 [J]. *水产学报*, 2019, 43(4): 1234-1244.
- [40] LORENTZEN G, BREILAND M S W, ØSTLI J, et al. Growth of halophilic microorganisms and histamine content in dried salt-cured cod (*Gadus morhua* L.) stored at elevated temperature[J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2015, 60(1): 589-602.