

# 咸鱼中生物胺的研究进展

吴曼铃, 时 瑞, 胡锦鹏, 程文健\*

(福建农林大学食品科学学院, 福建福州 350002)

**摘要:**生物胺是广泛存在于食品中的具有生物活性的低分子量含氮有机化合物的总称, 主要由氨基酸脱羧酶作用于氨基酸产生。咸鱼作为传统的腌制水产品, 味道鲜美, 富含大量游离氨基酸, 是产胺微生物生长繁殖及生物胺形成与积累的良好载体, 过量摄入则对人体健康构成潜在风险。本文结合近年来国内外相关研究报道, 介绍了咸鱼制品中生物胺种类、作用和产生机理, 分析了影响生物胺合成的因素, 归纳了咸鱼制品加工中生物胺的控制方法, 并对调控咸鱼制品中生物胺合成的研究方向和热点进行展望。

**关键词:**咸鱼, 生物胺, 形成, 控制

## Research Progress on Biogenic Amines in Salted Fish

WU Man-ling, SHI Rui, HU Jin-peng, CHENG Wen-jian\*

(College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** Biogenic amine is a general term of bioactive low molecular weight nitrogen-containing organic compounds, which is mainly produced by amino acid decarboxylase. As a traditional preserved aquatic product, salted fish is delicious and rich in a large number of free amino acids, however, it is a good carrier for the growth and reproduction of amine-producing microorganisms, resulting in the formation and accumulation of biological amines. Excessive intake of biological amines has a potential risk to human health. According to the worldwide research reports published in recent years, this review elaborates the species, functions and production mechanism of biological amines in salted fish, the factors which have influence on the formation of the biogenic amine are analyzed, the methods for controlling biological amines in the processing of salted fish products are summarized. Finally, study tendency and future hot issues on controlling biological amines in salted fish are prospected.

**Key words:** salted fish; biogenic amines; formation; control

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2020)19-0374-06

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020.19.058

引文格式: 吴曼铃, 时瑞, 胡锦鹏, 等. 咸鱼中生物胺的研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 374-379.

传统咸鱼是采用干腌、湿腌或混合腌制的方式将原料鱼和食盐均匀混合腌制的一类水产加工品。咸鱼具有独特风味, 味道鲜美, 并且营养价值丰富, 广受我国东南部沿海、日本和东南亚消费者的喜爱。近十年, 我国稳居全球第一大水产品加工和出口国, 2018年我国水产加工品产量高达2156.85万吨<sup>[1]</sup>, 其中干腌制水产品加工量为162.46万吨, 仅占7.53%, 这是因为消费者对食品的要求在不断提高, 在注重口感和独特风味的同时, 越来越关注食品的营养价值以及安全性。受环境条件及加工工艺的制约, 咸鱼产品的质量和安全问题受到广泛关注, 从安全角度看, 在世界范围内因食用腌制水产品而引起的中毒事件中, 生物胺中毒事件占据较高比例且发生较为频繁<sup>[2-4]</sup>。因此了解咸鱼生产过程中生物胺形成

原因与影响因素, 进而对咸鱼在生产过程中生物胺进行有效控制, 才能在保证咸鱼制品良好的营养、风味、感官品质的基础上, 提高产品的安全性。本文介绍了咸鱼中生物胺种类、作用和产生机理, 分析了影响生物胺合成的因素, 并根据近年来国内外最新研究进展, 综述了咸鱼制品加工中生物胺的控制方法, 以期有效降低咸鱼制品加工中生物胺的含量, 确保产品质量安全指明研究方向。

### 1 生物胺的种类和作用

生物胺(Biogenic amines, BAs)是一类由生物体代谢合成的脂肪族、芳香族或杂环族的有机碱化合物, 食品中的生物胺主要是由游离氨基酸脱羧作用、醛酮类化合物发生转氨基作用或氨基化产生。咸鱼在腌制过程中发生了复杂的生理生化反应, 味道变

收稿日期: 2020-01-15

作者简介: 吴曼铃(1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 水产资源综合利用, E-mail: Wumanling\_Lillian@163.com。

\* 通讯作者: 程文健(1974-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工, E-mail: chengwj@fafu.edu.cn。

基金项目: 福州市“十三五”海洋经济创新发展示范城市项目(FZJH17); 福建农林大学科技创新专项基金项目(CXZX2017017); 福建农林大学科技创新专项基金项目(CXZX2018066)。

得鲜美,风味变得独特,是人体氨基酸、脂肪酸的良好来源,其蛋白质含量达 15%~18%,氨基酸种类较为齐全,所含脂肪都是对人体健康极为有益的不饱和脂肪酸<sup>[5-6]</sup>,并且富含矿物质和微量元素,如钠、钙、镁、磷、铁等<sup>[7]</sup>。但是咸鱼在腌制过程中,由于受自身原料特点、腌制环境条件等因素的影响,在腌制过程中极易生成数量和种类不等的生物胺,主要包括组胺、色胺、苯乙胺、尸胺、腐胺、亚精胺、酪胺和精胺 8 类<sup>[8]</sup>。不同鱼类中生物胺存在较大差异,大量研究表明<sup>[9-10]</sup>,组胺是海产鱼中青皮红肉鱼类(如金枪鱼、鲑鱼、鲭鱼和沙丁鱼等)中最主要和最易形成的生物胺,因此,一些国家建议把组胺作为其腐败的指标;而白肉鱼中组胺含量较少,腐胺、尸胺则作为其腐败的质量指标。

生物胺是生物体中重要的活性成分,如精胺、亚精胺、腐胺和尸胺是维持生物细胞正常工作的组成成分,在调节 DNA、RNA 和蛋白质合成,稳定生物膜等方面有重要意义;色胺和苯乙胺均能够调节血压,前者还具有收缩血管的作用,后者可以调节去甲肾上腺素水平;酪胺具有抗氧化,促进心率、血压和血糖浓度增加等作用<sup>[11]</sup>;对人体健康影响最大的组胺不仅可以充当神经递质发挥功能,调节肠道生理功能,还能够参与局部免疫、炎症反应,调控白细胞和血细胞及部分蛋白质含量<sup>[12]</sup>。Parente 等<sup>[13]</sup>认为,人体胃肠道中存在胺氧化酶——单胺氧化酶和二胺氧化酶,所以低剂量的生物胺对人体不会产生严重的危害,但当一餐中摄入 8~40、40~80 mg 或超过 100 mg 的组胺可能引起轻微、中毒或严重中毒。在所有生物胺中,组胺是最重要、最受关注的胺类,常引起外周血管、毛细血管和动脉扩张,从而导致低血压、潮红和头痛以及哮喘等疾病<sup>[14]</sup>;酪胺则可能引起高血压、早老年痴呆症、精神萎靡、帕金森症等症状<sup>[15]</sup>;苯乙胺则可能与偏头痛有关<sup>[16]</sup>。相关报道表明,腐胺、尸胺和精胺以及亚精胺可通过抑制组胺的氧化来增强

组胺的毒害作用<sup>[16]</sup>,此外,还可与亚硝酸盐反应生成杂环致癌亚硝胺、亚硝基吡咯烷和亚硝基哌啶<sup>[17-18]</sup>,增加人体中毒的可能性。

## 2 生物胺的形成机理

除食品原料中所含有少量的生物胺外,大量的生物胺是在加工及贮藏过程中产生的。生物胺的形成机理主要有两条途径(如图 1 所示):一是由醛酮类化合物发生转氨基作用或氨基化产生,二是游离氨基酸由在动植物细胞中天然存在的内源性氨基酸脱羧酶或是各种微生物在有利条件下产生外源性氨基酸脱羧酶的作用下脱羧产生<sup>[8]</sup>。咸鱼主要通过第二种途径产生各类生物胺,即在脱羧酶的作用下,氨基酸分别脱羧形成相应生物胺<sup>[19]</sup>,这是由于咸鱼具有这些生物胺产生的基本条件:含有大量可利用的游离氨基酸;具有氨基酸脱羧酶活性的微生物;具有适宜微生物生长和氨基酸脱羧酶生长繁殖的环境。

## 3 咸鱼生物胺形成的影响因素

### 3.1 游离氨基酸

游离氨基酸不仅是咸鱼中生物胺产生的重要前体物质,而且为微生物的生长繁殖提供了重要能源物质。除咸鱼自身所含外,蛋白质水解是鱼类富含游离氨基酸的另一重要原因,其含量随着时间的延长而逐渐增加,这是内源和外源蛋白酶共同作用的结果。Wang 等<sup>[20]</sup>在探究大黄鱼生物胺与游离氨基酸的关系时发现,在整个贮藏期间,大黄鱼蛋白质水解程度和腐胺、尸胺含量呈显著正相关。不同鱼体中生物胺的种类和含量各不相同,这是由于鱼类氨基酸组成和含量不同所致,鲭科鱼类体内含有较多游离的组氨酸,如金枪鱼体内组氨酸含量高达 15 g/kg,而鲱鱼体内组氨酸含量仅有 1 g/kg,因此金枪鱼更易引起组胺中毒<sup>[21]</sup>。赖氨酸是带鱼最主要的游离氨基酸,腌制带鱼中尸胺含量为 63.55 mg/kg,大约是原料的 150 倍,故与带鱼中其他生物胺含量相比,尸胺是

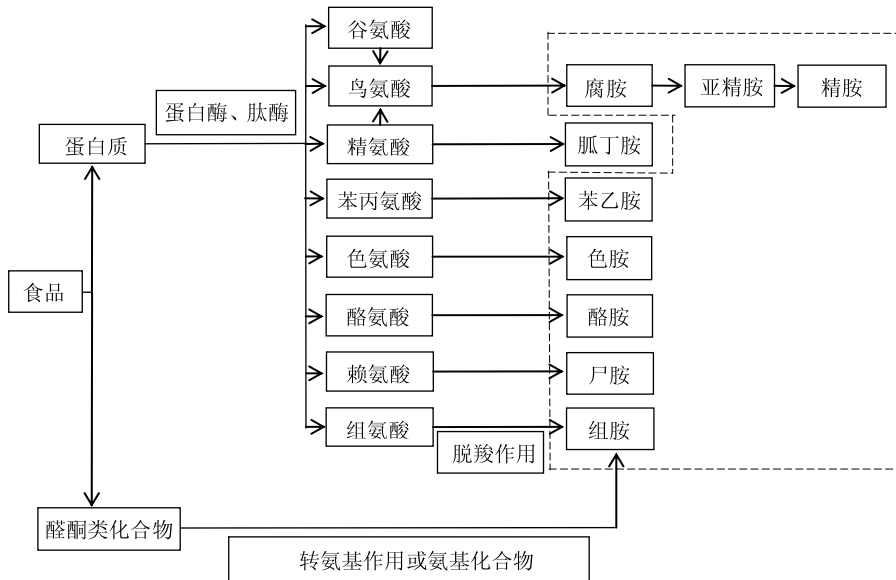


图 1 生物胺的形成

Fig.1 Formation of biogenic amines

表1 常见的生物胺及产生菌株

Table 1 Common biogenic amines and their producing strains

生物胺	产胺微生物
组胺	摩氏摩根菌( <i>Morganella morganii</i> )、克雷柏氏菌( <i>Klebsiella pneumoniae</i> )、蜂房哈夫尼菌( <i>Hafnia alvei</i> )、蜡状芽孢杆菌( <i>Bacillus cereus</i> ) <sup>[24]</sup>
酪胺	肠球菌( <i>Enterococcus</i> )、乳球菌( <i>Lactococcus</i> )、肉食杆菌( <i>Carnobacterium</i> ) <sup>[25]</sup>
腐胺	短乳杆菌( <i>L.brevis</i> )、流感嗜血杆菌( <i>Haemophilus influenzae</i> )、鼠伤寒沙门氏菌( <i>Salmonella typhimurium</i> )、志贺氏菌( <i>Shigella flexneri</i> ) <sup>[26-27]</sup>
尸胺	肠杆菌科( <i>Enterobacteriaceae</i> )、嗜盐芽孢杆菌( <i>Bacillus halodurans</i> ) <sup>[26]</sup>
色胺	大肠杆菌( <i>E.coli</i> )、阴沟肠杆菌( <i>Enterobacter cloacae</i> ) <sup>[28-29]</sup>
苯乙胺	乳杆菌科( <i>Lactobacillaceae</i> )、木糖葡萄球菌( <i>Staphylococcus xylosus</i> ) <sup>[29]</sup>
精胺	乳酸片球菌( <i>Pediococcus acidilactici</i> )、金黄色葡萄球菌( <i>Staphylococcus aureus</i> ) <sup>[30]</sup>
亚精胺	枯草芽孢杆菌( <i>Bacillus subtilis</i> )、唾液乳杆菌( <i>Lactobacillus salivarius</i> ) <sup>[31]</sup>

带鱼中含量最多和最主要的生物胺<sup>[22]</sup>；对比新鲜鲱鱼和封鲱鱼中生物胺的含量发现，经腌制后封鲱鱼中色胺含量达到最高，尸胺、组胺次之，分别为18.56、11.02、8.98 mg/kg<sup>[7]</sup>。可见，确定食品中游离氨基酸的组成和含量对生物胺的定性及定量研究十分有帮助。

### 3.2 酶及微生物

氨基酸脱羧酶是咸鱼中生物胺产生的重要影响因素，除内源性脱羧酶外，在咸鱼制品加工及贮藏过程中受微生物的污染是造成生物胺累积的主要原因。一些微生物在酸性条件下能够抵御外界环境做出应激机制，产生氨基酸脱羧酶，经脱羧作用产生碱性生物胺中和酸性环境，提高pH。表1列出了食品中常见的具有产胺能力的微生物。鱼类原料由于营养丰富，非蛋白氮含量高，极易受微生物的污染而腐败变质，其中就包括各种具有产胺能力的微生物。但咸鱼制品中由于含有较高含量的食盐，如果在腌制之前原料新鲜，没有腐败变质，则在加工与贮藏过程中产胺微生物一般不能生长，因此耐盐性产胺微生物(克雷柏氏菌、蜡状芽孢杆菌、乳酸片球菌、嗜盐芽孢杆菌、腐生葡萄球菌等)是造成咸鱼制品生物胺累积的主要贡献者，如吴佳佳等<sup>[23]</sup>发现腐生葡萄球菌菌株是咸鲱鱼中生物胺的主要贡献者。

### 3.3 其他因素

在咸鱼加工及贮藏过程中，温度<sup>[32-34]</sup>、pH<sup>[35]</sup>、盐的浓度<sup>[36-38]</sup>等物理化学因素也可通过影响微生物的繁殖和氨基酸脱羧酶的活性进一步影响生物胺的生成。微生物最适的生长温度一般为16~30℃，温度低于10℃或高于43℃都会使微生物活性受到抑制，一方面，适宜的温度为微生物繁殖创造了条件，促进了蛋白质分解，另一方面，提高了蛋白酶、肽酶以及氨基酸脱羧酶的活性。陈玉峰等<sup>[39]</sup>分别在0、15和25℃下腌制金线鱼，分析发现温度对腐胺、尸胺以及组胺有显著的影响，随着腌制温度的升高，其含量不断增加，在高盐环境下，部分产氨基酸脱羧酶的微生物细胞耐盐能力下降，生物胺的合成受阻。钱茜茜<sup>[40]</sup>研究表明100 g/L的盐度对沃氏葡萄球菌(*Staphylococcus wolfowitz*)有明显的抑制作用，但溶血葡萄球菌(*Hemolytic staphylococcus*)耐盐性极强，在

200 g/L的食盐浓度下仍能生长，Wheater<sup>[41]</sup>发现2%的食盐浓度使保加利亚乳杆菌(*Lactobacillus bulgaricus*)的数量和产生物胺能力大大降低。由此可见，盐含量对生物胺的影响主要是通过抑制不耐盐产胺微生物的生长来实现的。细菌的氨基酸脱羧酶在酸性条件下活性最好，王鹏<sup>[42]</sup>认为酪氨酸脱羧酶表达的最佳pH为5.5，pH4.0则是组氨酸脱羧酶活性最佳的pH<sup>[43]</sup>。

## 4 咸鱼中生物胺的控制方法

生物胺具有良好的热稳定性，一旦形成就很难去除，严重影响咸鱼制品的食用安全性。咸鱼中生物胺主要是在原料生产、腌制加工、贮藏运输的过程中受产胺微生物污染形成的，因此控制其积累，就必须控制微生物生长繁殖，抑制氨基酸脱羧酶活性。目前，对于咸鱼中生物胺的控制主要有三类，分别为物理控制方法、化学控制方法和生物控制方法。

### 4.1 生物胺的物理控制方法

目前，应用于咸鱼加工业中生物胺的物理控制方法包括低温、辐照、超高压和气调保鲜等传统及高新技术。食品安全中最具毒性的，与人体健康密切相关的生物胺是组胺和酪胺，这些生物胺具有极强的耐热性，在加工的过程中难以通过加热灭活。秋刀鱼中摩氏摩根菌、肠杆菌属在25℃条件下产组胺能力分别为9889.75、2891.15 mg/L，而在4℃时仅为26.95、0.8 mg/L<sup>[44]</sup>；在25℃条件下大黄鱼中生物胺的含量分别是0、4℃的335、468倍<sup>[45]</sup>，低温(4℃)是预防生物胺产生的有效措施，但由于生物胺产生菌有嗜冷菌和嗜温菌两大类，因此低温时菌体也能产生生物胺，只是低温状态下产胺菌体代谢缓慢，生物胺的产量低<sup>[46]</sup>。

高新技术的应用为食品质量安全提供了新的保障，辐照也是一种有效的降低生物胺累积的方法，但需要对辐照剂量进行严格控制，目前，已有50个国家采用辐照对食品安全进行调控。Nei<sup>[47]</sup>用35 kGy γ射线处理金枪鱼和鲱鱼，发现辐照间接破坏产胺微生物摩氏摩根菌的活性，抑制了组胺的累积，使样品中组胺浓度始终低于检测限量10 mg/kg。结合现代超高压灭菌技术，Doeun等<sup>[48]</sup>、Lerasle等<sup>[49]</sup>分别采用400~500 MPa的压力处理样品，发现均能够不同程度

地降低生物胺的形成和累积。气调保鲜(40% CO<sub>2</sub>和60% O<sub>2</sub>)对耐冷的摩根氏菌和光敏细菌有一定的抑制效果,对改善和提高产品质量和安全性有重要意义<sup>[50]</sup>。物理控制方法是通过抑制微生物的生长,从而减少生物胺的累积,操作简单、方便,但需相应的设备,能耗较大,在生产应用中具有一定的局限性。

## 4.2 生物胺的化学控制方法

化学控制方法主要是在咸鱼腌制过程中添加不同化合物(糖类、食盐、山梨酸钾等)或天然提取物质(茶多酚、姜辣素、壳聚糖等)。添加糖类物质能够影响产胺菌群的适宜生长环境,抑制其生长繁殖;此外,还原糖还可以在适宜条件下与组胺的前体物质组氨酸发生美拉德反应,达到降解组胺的目的<sup>[51]</sup>。盐是腌制过程中重要组成成分,不仅影响咸鱼的色、香、味和蛋白质等营养成分,其较强的杀菌作用还能够有效抑制生物胺的合成<sup>[52-53]</sup>。山梨酸钾是国际公认的高效、安全的酸型防腐剂,通过抑制产胺菌的生长,从而控制生物胺的产生,Gençcelep等<sup>[54]</sup>研究表明,在珍珠鲷鱼中添加5%的山梨酸钾显著降低了苯乙胺、腐胺、色胺的含量;吴燕燕等<sup>[55]</sup>在蓝圆鲹中也有同样的发现,与空白组比较,添加5%山梨酸钾的咸鱼中腐胺和尸胺的含量分别降低65.30%和69.77%。

天然提取物质对生物胺的合成同样有一定的抑制作用,茶多酚可以螯合辅酶中金属离子,延缓鱼肉蛋白的分解,降低生物胺前体物质即氨基酸的产生<sup>[56]</sup>;姜辣素能够抑制组氨酸胺脱羧酶的活性,降低组胺的累积<sup>[55]</sup>。Cai等<sup>[57]</sup>研究发现壳聚糖的抗氧化、抗菌和阻隔作用阻止了鱼体蛋白的水解,阻隔了微生物进入鱼体,使组胺浓度降低了85%。化学控制方法成本较低,且不需要昂贵的仪器设备,但由于其添加的某些物质可能会掩盖咸鱼独特“咸香”风味,改变食品本身的营养成分。

## 4.3 生物胺的生物控制方法

近年来,通过添加外源微生物发酵降低食物内生物胺含量的研究受到了广泛的关注。鱼类自体所含微生物大部分具有产胺潜力,因此常将对人体无害、不产内源毒素且能抑制病原菌生长的有益菌种,如乳酸菌<sup>[58-59]</sup>、葡萄球菌<sup>[60]</sup>以及酵母菌<sup>[61]</sup>等接种到鱼体中,达到抑制微生物生长繁殖、生物胺合成,提高产品的安全性、风味及感官品质的效果。利用不同微生物间存在拮抗作用,林城杏<sup>[62]</sup>将植物乳杆菌B7人工接种发酵酸鱼,发现乳酸菌大量快速生长繁殖产酸,抑制了产胺肠杆菌等腐败菌和致病菌的生长,对比自然发酵组(21.15 mg/kg),接种组(17.45 mg/kg)中生物胺(尤其是 $\beta$ -苯乙胺和腐胺)含量降低。

除抑制产胺微生物的生长繁殖外,还可以通过酶法降解已存在的生物胺,即利用某些微生物产生的胺氧化酶将生成的生物胺降解,生成乙醛、氨和过氧化氢,或分泌出胺脱氢酶使生物胺脱氨生成乙醛和氨<sup>[63]</sup>。徐洁等<sup>[64]</sup>克隆的乳杆菌多铜氧化酶能够降

解色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺和亚精胺在内的7种生物胺,其中对组胺和酪胺的降解能力最高,分别为51.6%和40.9%。通过微生物发酵和酶法降低生物胺不仅能够保持咸鱼原有风味,并且有效降低了咸鱼制品中生物胺含量,但筛选某些对产胺微生物具有竞争抑制作用的特定菌株或者确定具有生物胺氧化酶以及胺脱氢酶活性的菌株还需要展开大量研究。

## 5 展望

在水产加工过程中,耐盐性产胺微生物是造成咸鱼制品生物胺累积的主要贡献者,咸鱼中主要的生物胺,如组胺、腐胺、尸胺,是鱼体中游离氨基酸经脱羧作用形成的。这些产胺微生物的生长繁殖过程受温度、pH、盐浓度等条件影响,因此需控制生产过程中关键影响因子,避免易形成生物胺的微生物的生长繁殖。目前,对生物胺的控制除物理、化学控制方法外,微生物发酵和酶法降解的生物方法也成为研究热点。然而,迄今为止,大多数关于降解生物胺的微生物的代谢研究还未深入,即只涉及微生物菌系的初步鉴定。生物胺的含量与相关微生物菌落结构变化关系、生物胺产生菌和降解菌的拮抗及协同作用仍有待了解。生物技术对控制咸鱼制品中生物胺的含量具有一定的可行性,同时也有待于进一步的探索。

## 参考文献

- [1] 陈廷贵,米洁,林敢.中国水产品加工企业出口与生产率关系研究——基于中国工业企业数据库:2005~2013[J].中国渔业经济,2018,36(6):57-64.
- [2] 孙健,张新东,郭永乐,等.一起变质鲈鱼引起的组胺食物中毒事件调查[J].中国食品卫生杂志,2015,27(4):464-467.
- [3] Demoncheaux J P, Michel R, Mazonot C, et al. A large outbreak of scombroid fish poisoning associated with eating yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) at a military mass catering in dakar, senegal - erratum[J].Epidemiology & Infection,2012,143(8):1718.
- [4] Velut G V G, Delon F D F. Histamine food poisoning: A sudden, large outbreak linked to fresh yellowfin tuna from Reunion Island, France, April 2017[J].Eurosurveillance,2019,24(22):26-33.
- [5] 杨柳,王立珊,李俐,等.贵州黔东南腌鱼营养成分分析与评价[J].食品科学,2008,29(5):420-422.
- [6] 赵振新,李小义,曾诗雨,等.侗族腌鱼发酵过程营养成分分析与评价[J].贵州农业科学,2019,47(6):117-121.
- [7] 刘玮.封鲮鱼营养品质、风味特征及其防腐保鲜[D].合肥:合肥工业大学,2017.
- [8] Fausto G, Yesim Ö, Giovanna S, et al. Technological factors affecting biogenic amine content in foods: A review[J].Frontiers in Microbiology,2016,7:1218.
- [9] Yanyan W U, Chen Y, Laihao L I, et al. Study on biogenic amines in various dry salted fish consumed in China[J].Journal of Ocean University of China,2016,15(4):681-689.
- [10] Bilgin B, Gen Celep H. Determination of biogenic amines in

- fish products[J]. Food Science & Biotechnology, 2015, 24(5): 1907-1913.
- [11] Broadley K J. The vascular effects of trace amines and amphetamines[J]. Pharmacology & Therapeutics, 2010, 125(3): 363-375.
- [12] 景智波, 田建军, 杨明阳, 等. 食品中与生物胺形成相关的微生物菌群及其控制技术进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 262-268.
- [13] Parente E, Martuscelli M, Gardini F, et al. Evolution of microbial populations and biogenic amine production in dry sausages produced in Southern Italy [J]. Journal of Applied Microbiology, 2001, 90(6): 882-891.
- [14] Santos M H S. Biogenic amines: Their importance in foods [J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 29(2): 213-231.
- [15] 张菁. 黄豆酱发酵过程中生物胺形成的影响因素研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
- [16] Schweitzer J W, Friedhoff A J, Schwartz R. Chocolate,  $\beta$ -phenethylamine and migraine re-examined[J]. Nature, 1975, 257(5523): 256.
- [17] Ordóñez J A, Hierro E M, Bruna J M, et al. Changes in the components of dry-fermented sausages during ripening [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1999, 39(4): 329-367.
- [18] 杨慧娟, 谭芦兰, 唐宏刚, 等. 肉制品中亚硝胺控制的研究进展[J]. 食品科学技术学报, 2019, 37(5): 72-76.
- [19] Prester Ljerka. Biogenic amines in fish, fish products and shellfish: A review [J]. Food Additives & Contaminants, 2011, 28(11): 1547-1560.
- [20] Wang Y, Bao X, Wang, et al. Dynamic detection of biogenic amines as a quality indicator and their relationship with free amino acids profiles in large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Journal of Food Science, 2019, 84(1-3): 254-260.
- [21] 赵利. 水产品中生物胺的研究进展[J]. 水产学报, 2006, 30(2): 272-276.
- [22] 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): 1577-1586.
- [23] 吴佳佳, 王思齐, 戴志远. 咸鳓鱼中产组胺菌的分离与鉴定[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(3): 71-76.
- [24] Hazards E P O B. Scientific opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods [J]. EFSA Journal 2011, 9(10).
- [25] Ten Brink B, Damink C, Joosten H M L J, et al. Occurrence and formation of biologically active amines in foods [J]. International Journal of Food Microbiology, 1990, 11(1): 73-84.
- [26] Landete J M, de Las Rivas B, Marcobal A, et al. Molecular methods for the detection of biogenic amine-producing bacteria on foods [J]. International Journal of Food Microbiology, 2007, 117(3): 258-269.
- [27] Ladero V, Edo E C, Pérez M, et al. Multiplex qPCR for the detection and quantification of putrescine-producing lactic acid bacteria in dairy products [J]. Food Control, 2012, 27(2): 307-313.
- [28] 李素, 赵冰, 张顺亮, 等. 风干肠中产生物胺细菌的筛选鉴定及其产胺特性[J]. 中国食品学报, 2018, 18(1): 257-263.
- [29] 李蕊婷, 卢士玲, 李开雄, 等. 新疆熏马肠中产氨基酸脱羧酶优势细菌的分离及鉴定[J]. 现代食品科技, 2014, 30(9): 85-91.
- [30] Hal Sz A, Bar Th G, Simon-Sarkadi L, et al. Biogenic amines and their production by microorganisms in food [J]. Trends in Food Science & Technology, 1994, 5(2): 42-49.
- [31] 顾会咏, 甘伯中, 任发政, 等. *Lactobacillus salivarius* REN菌株的产胺测定与抗生素耐药性评价[J]. 甘肃农业大学学报, 2013, 48(4): 124-130.
- [32] Lei Z, Xie J, Yin L, et al. Effect of storage temperature and ginger essential oil on quality indicators and the formation of biogenic amines in tuna as well as correlation between quality indicators and biogenic amine contents [J]. Food Science, 2017, 38(3): 45-52.
- [33] 丁海燕, 孙晓杰, 宁劲松, 等. 储藏温度对3种海水鱼产生生物胺的规律影响研究[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 177-182.
- [34] Madejska A, Michalski M, Pawul-Gruba M, et al. Histamine content in rennet ripening cheeses during storage at different temperatures and times [J]. Journal of Veterinary Research, 2018, 62(1): 65-69.
- [35] Cinquanta L, Stefano G, Formato D, et al. Effect of pH on malolactic fermentation in southern Italian wines [J]. European Food Research and Technology, 2018, 244(7): 1261-1268.
- [36] 陶志华, 韩雅丽, 佐藤实. 盐浓度及温度对秋刀鱼干制作中组胺生成的影响[J]. 现代食品科技, 2012, 28(4): 371-373.
- [37] Latorre-Moratalla M L, Bover-Cid S, Vidal-Carou M C. Technological conditions influence aminogenesis during spontaneous sausage fermentation [J]. Meat Science, 2010, 85(3): 537-541.
- [38] 刘爽爽. 腌鱼过程中生物胺的产生规律及其控制的研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2015.
- [39] 陈玉峰, 吴燕燕, 邓建朝, 等. 腌制和干燥工艺对咸金线鱼中生物胺的影响[J]. 食品工业科技, 2015, 36(20): 83-91.
- [40] 钱茜茜. 腌干鱼加工过程微生物群落多样性分析及产胺菌的控制技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2016.
- [41] Wheater M D. The characteristics of *Lactobacillus acidophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* [J]. Journal of General Microbiology, 1955, 12(1): 123-132.
- [42] 王鹏. 氨基酸脱羧酶重组表达及应用研究[D]. 南京: 南京大学, 2015.
- [43] Pogorzelski E. Studies on the formation of histamine in must and wines from elderberry fruit [J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 1992, 60(2): 239-244.
- [44] 刘红, 田鑫, 梁一巍, 等. 秋刀鱼肉中产胺菌的分离、鉴定及产胺能力分析[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2019, 24(6): 419-427.
- [45] 朱作艺, 张玉, 王君虹, 等. 不同贮藏条件下大黄鱼生物胺变化[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(9): 1592-1598.
- [46] Kanki M, Yoda T, Tsukamoto T, et al. Histidine decarboxylases and their role in accumulation of histamine in tuna and dried saury [J]. Applied & Environmental Microbiology, 2007, 73(5): 1467-1473.
- [47] Nei D. Evaluation of non-bacterial factors contributing to histamine accumulation in fish fillets [J]. Food Control, 2014, 35

- (1):142-145.
- [48] Doeun D, Shin H, Chung M. Effects of storage temperatures, vacuum packaging, and high hydrostatic pressure treatment on the formation of biogenic amines in gwamegi [J]. Applied Biological Chemistry, 2016, 59(1): 51-58.
- [49] Lerasle M, Federighi M, Simonin H, et al. Combined use of modified atmosphere packaging and high pressure to extend the shelf-life of raw poultry sausage [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2014, 23: 54-60.
- [50] Emborg J, Laursen B G, Dalgaard P. Significant histamine formation in tuna (*Thunnus albacares*) at 2 °C—effect of vacuum- and modified atmosphere- packaging on psychrotolerant bacteria [J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 101(3): 263-279.
- [51] 莫星忱. 添加物对快速发酵虾酱中组胺含量及其相关品质的影响 [D]. 湛江: 广东海洋大学, 2016.
- [52] Roseiro C, Santos C, Sol M, et al. Prevalence of biogenic amines during ripening of a traditional dry fermented pork sausage and its relation to the amount of sodium chloride added [J]. Meat Science, 2006, 74(3): 557-563.
- [53] 王永丽. 植物多酚及盐替代对干腌培根生物胺及亚硝酸调控机制研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- [54] Gençlepe H, Andi S, Köse Ş. Effects of potassium sorbate application on shelf life and biogenic amines of pearl mullet (*Chalcalburnus tarichi* Pallas, 1811) filets packaged with vacuum [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2014, 23(4): 347-357.
- [55] 吴燕燕, 钱茜茜, 李来好, 等. 3种添加物对咸鱼加工贮藏过程中生物胺的抑制效果 [J]. 食品科学, 2016, 37(18): 190-196.
- [56] Cai L Y, Liu S C, Sun L J, et al. Application of tea polyphenols in combination with 6-gingerol on shrimp paste of during storage: Biogenic amines formation and quality determination [J]. Frontiers in Microbiology, 2015, 6: 981.
- [57] Cai L, Li X, Wu X, et al. Effect of chitosan coating enriched with ergothioneine on quality changes of Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. Food & Bioprocess Technology, 2014, 7(8): 2281-2290.
- [58] Coton M, Lebreton M, Salas M L, et al. Biogenic amine and antibiotic resistance profiles determined for lactic acid bacteria and a propionibacterium prior to use as antifungal bioprotective cultures [J]. International Dairy Journal, 2018, 85: 21-26.
- [59] 李秀明, 周伟, 鲍佳彤, 等. 不同乳酸菌发酵剂对发酵红肠品质的影响 [J]. 肉类研究, 2019, 33(7): 7-13.
- [60] 谭李红, 夏文水, 张春晖. 一种混合发酵剂对干发酵香肠中生物胺含量的影响 [J]. 食品工业科技, 2005, 26(6): 90-91.
- [61] 张潇, 龚吉军, 唐静, 等. 不同发酵剂与发酵条件对鲈鱼生物安全性的影响 [J]. 食品工业科技, 2016, 37(4): 205-210.
- [62] 林城杏. 传统高盐发酵酸鱼乳酸菌菌群结构及强化发酵作用研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
- [63] 冯婷婷, 方芳, 杨娟, 等. 食品生物制造过程中生物胺的形成与消除 [J]. 食品科学, 2013, 34(19): 360-366.
- [64] 徐洁, 方芳. 发酵乳杆菌多铜氧化酶的异源表达及酶学性质 [J]. 生物工程学报, 2019, 35(7): 1286-1294.
- (上接第373页)
- [61] 杨星, 张美彦, 才让卓玛, 等. 肉制品烟熏加工技术的应用及发展 [J]. 贵州农业科学, 2018, 46(7): 142-144.
- [62] 赵冰, 周慧敏, 王守伟, 等. 苹果木烟熏液对湖南腊肉品质的影响 [J]. 肉类研究, 2016, 30(1): 11-15.
- [63] Hattula T, Elfving K, Mroueh U M, et al. Use of liquid smoke flavouring as an alternative to traditional flue gas smoking of rainbow trout filets (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. LWT - Food Science and Technology, 2001, 34(8): 521-525.
- [64] 郝麒麟, 黄先智, 丁晓雯. 食品中杂环胺的危害与控制措施研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(13): 275-280.
- [65] Rahman U U, Sahar A, Khan M I, et al. Production of heterocyclic aromatic amines in meat: Chemistry, health risks and inhibition. A review [J]. LWT - Food Science and Technology, 2014, 59(1): 229-233.
- [66] Soladoye O P, Shand P, Duganm E R, et al. Influence of cooking methods and storage time on lipid and protein oxidation and heterocyclic aromatic amines production in bacon [J]. Food Research International, 2017, 99: 660-669.
- [67] 王震, 张雅玮, 钱烨, 等. 反复卤煮对鸭胸肉和卤汤中杂环胺及其前体物的影响 [J]. 食品工业科技, 2019, 40(12): 58-64.
- [68] 李永, 何志勇, 高大明, 等. 热加工食品中杂环胺形成及抑制机制 [J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(2): 312-319.
- [69] Gibis M, Weiss J. Antioxidant capacity and inhibitory effect of grape seed and rosemary extract in marinades on the formation of heterocyclic amines in fried beef patties [J]. Food Chemistry, 2012, 134(2): 766-774.
- [70] Sabally K, Slemo L, Jauffert A, et al. Inhibitory effects of apple peel polyphenol extract on the formation of heterocyclic amines in pan fried beef patties [J]. Meat Science, 2016, 117: 57-62.
- [71] Zeng M, Wang J, Zhang M, et al. Inhibitory effects of Sichuan pepper (*Zanthoxylum bungeanum*) and sanshoamide extract on heterocyclic amine formation in grilled ground beef patties [J]. Food Chemistry, 2018, 239: 111-118.
- [72] Essumang D K, Dodoo D K, Adjei J K. Effect of smoke generation sources and smoke curing duration on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in different suites of fish [J]. Food and Chemical Toxicology, 2013, 58(7): 86-94.
- [73] Djiovic J, Popovic A, Jira W. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in different types of smoked meat products from Serbia [J]. Meat Science, 2008, 80(2): 449-456.
- [74] Farhadian A, Jinap S, Hanifah H N, et al. Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat [J]. Food Chemistry, 2011, 124(1): 141-146.
- [75] 陈炎, 杨潇, 屠泽慧, 等. 愈创木酚对卤煮牛肉中多环芳烃含量的影响 [J]. 食品科学技术学报, 2017, 35(5): 32-40.
- [76] 屠泽慧. 香辛料与照射处理对熏肠多环芳烃含量及品质的影响 [D]. 合肥: 合肥工业大学, 2018.