

鱼露中生物胺的研究进展

陈 辉, 周秋树*

(广州禄仕食品有限公司, 广东 广州 510800)

摘 要: 生物胺是广泛存在于食品和饮料当中的一种基础含氮化合物, 是氨基酸在微生物氨基酸脱羧酶催化下脱羧反应的产物, 人体摄入过多会导致许多不良的生理反应。鱼露是日粮蛋白质、氨基酸、维生素和矿物质的良好来源, 是我国沿海地区很受欢迎的调味品, 有研究认为鱼露中含有大量的生物胺, 应对该类产品的安全性给予足够重视。了解生物胺的形成原因和调控机理, 才能有效地控制鱼露生产过程中生物胺的形成和积累。本文综述了鱼露产品中存在的生物胺的种类和含量、产生原因与调控机理、生物胺的毒性作用以及影响生物胺积累的重要因素, 并提出了减少鱼露产品中生物胺积累的方法。

关键词: 鱼露; 生物胺; 调味品

Biogenic Amines in Fish Sauce: A Review

CHEN Hui, ZHOU Qiushu*

(Guangzhou Luxe Seafood Enterprises Co. Ltd., Guangzhou 510800, China)

Abstract: Biogenic amines are basic nitrogenous compounds present in a wide variety of foods and beverages. Their formation is mainly due to the amino acids decarboxylase activity of certain microorganisms. Fish sauce, considered as a good source of dietary protein, amino acids, vitamins and minerals, is a popular condiment in East Asia. However, it has also been reported that fish sauce contains high amounts of biogenic amines. Excessive intake of biogenic amines could induce many undesirable physiological effects determined by their psychoactive and vasoactive action. Hence, attention should be given to ensure the safety of this product. A review study was conducted to present an overview on the presence of biogenic amines in fish sauce and to discuss the important factors affecting their accumulation. Impact of amines on human health and efforts to reduce their accumulation in fish sauce were also discussed to give a comprehensive view.

Key words: fish sauce; biogenic histamines; condiment

中图分类号: TS254.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-8123 (2016) 01-0040-06

DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.01.009

引文格式:

陈辉, 周秋树. 鱼露中生物胺的研究进展[J]. 肉类研究, 2016, 30(1): 40-45. DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.01.009. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

CHEN Hui, ZHOU Qiushu. Biogenic amines in fish sauce: a review[J]. Meat Research, 2016, 30(1): 40-45. (in Chinese with English abstract) DOI:10.15922/j.cnki.rlyj.2016.01.009. <http://rlyj.cbpt.cnki.net>

生物胺是一类小分子质量的含氮化合物, 主要通过氨基酸的脱羧反应、转胺作用或醛和酮的转胺作用形成, 这类化合物广泛存于人和动物体内并扮演着重要角色^[1-3]。食品中低浓度生物胺对人类健康没有影响^[2], 但摄入过多生物胺会导致多种毒性作用, 如: 头痛、皮疹、腹泻、呼吸困难、心悸、高血压等, “奶酪反应”正是由于人体摄入过多富含酪胺的奶酪后出现严重的高血压症状^[4-5]。

鱼露是蛋白质和氨基酸的良好来源, 是我国沿海

一带、日本及东南亚各国人民所喜爱的调味品。泰国作为最大的鱼露生产国, 年产量高达 4.4×10^7 L^[6], 为了满足日益增长的需求量, 世界上许多生产国都在扩大鱼露的生产量。然而, 鱼露产品的质量和安全问题令人堪忧, 许多因鱼露中生物胺含量超标导致不良后果的事件在世界范围内都有发生^[7]; 只有清楚了生物胺的形成原因和调控机理, 才能有效地控制鱼露生产过程中生物胺的形成和积累。因此, 本文综述了鱼露产品中存在的生物胺的种类和含量、产生原因与调控机理、生物胺的毒性

收稿日期: 2015-07-06

作者简介: 陈辉 (1984—), 男, 助理工程师, 本科, 研究方向为水产品养殖与加工。E-mail: chenhui@gzluxe.com

*通信作者: 周秋树 (1969—), 男, 硕士, 研究方向为水产品养殖与加工。E-mail: szlololo@vip.163.com



作用以及影响生物胺积累的重要因素,并提出了减少鱼露产品中生物胺积累的方法。

1 鱼露中生物胺的种类和含量

鱼露是鱼类产品和盐以2:1~6:1的质量比混合后,在适宜温度下发酵4~12个月形成的清澈的琥珀色至红棕色液体,是日粮蛋白质和氨基酸的良好来源,其氮含量高达20 g/L,其中80%是氨基酸;鱼露中还有少量的水溶性维生素、脂肪酸和生物胺^[8]。根据分子结构可以将生物胺分成3类:脂肪族,如腐胺、尸胺、精胺、亚精胺等;芳香族,如酪胺、苯乙胺、章鱼胺等;杂环族,如组胺、色胺等。鱼露中所含生物胺主要是组胺、腐胺、尸胺和酪胺^[7],而苯乙胺、精胺、亚精胺是鱼露生产中微生物分解的中间产物,含量较少^[7-9]。研究发现鱼露中组胺含量较多,其含量因原材料和发酵方法的不同而不同,例如:台湾生产的鱼露中组胺的含量为1 220 mg/L,韩国生产的鳀鱼鱼露中组胺的含量为1 380 mg/L^[8],在泰国549个市售鱼露中组胺的含量介于200~600 mg/L^[10]。腐胺和尸胺能增强组胺的毒性,在有些市售鱼露中含量达到1 257、1 429 mg/L,酪胺、色胺、苯乙胺含量也分别高达1 178、588、251 mg/L,而精胺、亚精胺含量较少,仅为127、27.1 mg/L^[11]。

生物胺作为一种低分子质量的含氮有机物广泛存在于发酵水产品、香肠、干酪、葡萄酒、啤酒等发酵食品中。金枪鱼、鲑鱼、鲭鱼等鲭科鱼类具有青皮红肉,体内富含血红蛋白,含有十分丰富的组氨酸,所以组胺是海产鲭科鱼类中含量最多和最主要的生物胺^[12]。发酵香肠中生物胺以酪胺和腐胺的含量最高,土耳其生产的香肠中,酪胺含量为250 mg/kg,而在意大利南部生产的干制发酵香肠中酪胺含量高达500 mg/kg。乳中富含酪氨酸,容易污染酪胺,干酪中酪胺含量可高达400 mg/kg^[13]。意大利半干干酪中组胺和酪胺含量为390~400 mg/kg,尸胺为25.8~167.5 mg/kg,腐胺为549.8~1 104.6 mg/kg。除水产品外,干酪是最容易导致组胺中毒的食物^[14]。组胺、酪胺和腐胺为葡萄酒中主要的生物胺,其含量可作为衡量葡萄酒生产过程中卫生条件好坏的一个主要指标^[15]。啤酒在发酵过程中也会形成大量的酪胺、组胺和尸胺^[16]。水果中富含精氨酸,山莓、柠檬、橘子、草莓等水果汁中生物胺以腐胺为主;山莓汁还含有较多酪氨酸,所以酪胺质量浓度也高达66.66 mg/L^[17]。

2 鱼露中生物胺的形成

食品中生物胺是食物原材料中前体氨基酸在氨基

酸脱羧酶的作用下通过脱羧反应、转胺作用、或醛和酮的转胺作用形成的。因此,生物胺的形成包括以下条件:1)可利用的游离氨基酸;2)具有氨基酸脱羧酶活性的微生物;3)微生物生长、酶反应所需要的适宜条件^[18]。其中,芽孢杆菌、假单胞菌等产生的蛋白水解酶可将蛋白组织水解为游离氨基酸,这为生物胺的形成提供了重要的物质基础。鱼露中生物胺是由不同种类的微生物产生的,且其氨基酸脱羧酶活性不同。因鱼露中组胺含量最多,且毒性相对较强,所以目前对产组胺的微生物研究较多。鱼露生产过程中最常见的产组胺微生物包括:肠杆菌(*Enterobacteriaceae*)、微球菌(*Micrococcaceae*)、乳酸菌(*Lactobacillus*),其中很多细菌也会产生其他的有机胺类,如腐胺、尸胺、酪胺、精胺、亚精胺等^[1,19]。

2.1 肠杆菌

肠杆菌是鱼露及其相关食品中组胺、腐胺和尸胺的最主要生产者。肠杆菌中的摩氏摩根菌(*Morganella morganii*)、克雷柏氏菌(*Klebsiella pneumoniae*)、蜂房哈夫尼菌(*Hafnia alvei*)都能产生组胺^[1]。在奇异变形杆菌(*Proteus mirabilis*)^[19]、产酸克雷柏氏菌(*Klebsiella oxytoca*)^[11]、阴沟肠杆菌(*Enterobacter cloacae*)、泛生菌(*Pantoea* sp.)、成团泛菌(*Pantoea agglomerans*)^[20]中均发现了能形成组胺的酶。另外,Tsai等^[20]发现,阴沟肠杆菌及成团泛菌也能产生腐胺和尸胺。从用盐腌制的鳀鱼中分离出的类芽孢杆菌(*Paenibacillus tyramigenes*)能产生大量的酪胺^[21]。泛生菌和成团泛菌能产生低浓度的精胺和亚精胺^[15]。

2.2 微球菌

目前关于微球菌生成生物胺的相关研究较少。其中,微球菌和葡萄球菌中的某些菌种能产生组胺酸脱羧酶。微球菌是沙丁鱼鱼露生产中产生组胺的主要菌种。从盐腌制的鳀鱼中分离出的表皮葡萄球菌(*Staphylococcus epidermidis*)和头状葡萄球菌(*Staphylococcus capitis*)能产生大量的组胺^[22]。从盐腌制的梭鱼中分离出的肉葡萄球菌(*Staphylococcus carnosus*)也能产生组胺^[23]。

2.3 乳酸菌

虽然乳酸菌通常认为是益生菌,但从一些鱼类及其产品中也分离出了能产生生物胺的乳酸菌。从鱼露中分离出的盐水四联球菌(*Tetragenococcus muritaticus*)和嗜盐四联球菌(*Tetragenococcus halophilus*)都能产生组胺酸脱羧酶^[13,24]。清酒乳杆菌(*Lactobacillus sakei*)和肠膜明串珠菌(*Leuconostoc mesenteroides*)也能产生组胺^[3]。

2.4 其他微生物

生物胺合成酶广泛存在于各类细菌中。从鱼体内分离出的一些芽孢杆菌能够产生组胺^[8,17],巨大芽孢杆菌

(*Bacillus megaterium*)能产生腐胺和尸胺,凝结芽孢杆菌(*Bacillus coagulans*)能产生亚精胺,从一些鱼露和鱼酱中分离出的假单胞菌也能产生组胺。其他的一些细菌,如假单胞菌(*Pseudomonas cepaceae*)^[17]、产气荚膜梭菌(*Clostridium perfringens*)、溶藻弧菌(*Vibrio alginolyticus*)^[14]和明亮发光杆菌(*Photobacterium phosphoreum*)^[25]等也能产生组胺。

3 影响鱼露中生物胺形成的物理化学条件

3.1 pH值

pH值是影响氨基酸脱羧酶活性的一个重要因素。生物胺的产生是细菌对抗外界酸性环境的一个重要生理机制^[120],因此细菌的氨基酸脱羧酶在酸性条件下活性最好^[13,26-27]。Kimura等^[13]认为盐水四联球菌在pH 5.2(668.6 mg/L)时比pH 7.1(15.8 mg/L)能产生更多的组胺,肉食杆菌(*Carnobacterium divergens*)在发酵液初始pH小于5.0时能产生更高的酪胺^[18],酒酒球菌T65(*Oenococcus oeni* T65)在pH 3时产生的亚精胺量最大。

3.2 温度

鱼露及其相关食品中生物胺的形成与温度有较大关系,生物胺产生速率通常随着温度的上升而增加^[1,28-29]。阴沟肠杆菌在20℃时能产生腐胺,但在10℃时却不可以;20℃条件下克雷柏氏菌的腐胺生成量要大于10℃。Shalaby^[4]的研究发现组胺形成的最适温度为37.8℃,在10℃时生产速率明显降低,因为较高的温度能提升蛋白质水解酶活性,为氨基酸的脱羧反应提供所需的底物,进而提高了组胺的含量。尽管如此,还是有研究发现生理耐受能力强的明亮发光杆菌和摩氏摩根菌在冷冻的金枪鱼和雀鲷体内仍能产生高浓度的组胺^[25,28],及在冷冻的虹鳟体内也能较快的产生组胺、腐胺和尸胺^[30]。有研究证明,在冷藏的鱼和虾体内,一些胺类合成菌,如:发光杆菌(*Photobacterium*)、微球菌和气单胞菌(*Aeromonas*)仍能够存活和快速繁殖,这也会导致组胺的形成。

3.3 盐度

盐度在微生物菌群生长中扮演了一个重要角色,并能影响这些细菌的氨基酸脱羧酶活性。当盐度从5%上升到20%时盐水四联球菌生成组胺的速率受到抑制^[13]。在高浓度的盐分中头状葡萄球菌、肠杆菌的组胺酸合成酶活性会受到抑制^[20,31],这主要是由于高盐的环境降低了细菌细胞的耐受能力,且对产氨基酸脱羧酶的微生物细胞扰动较大^[32]。与此相反,有研究明表明,在盐腌制的鲱鱼中分离出的耐盐葡萄球菌的组胺酸合成酶活性在高浓度盐分中反而变高^[17],因此可以认为盐度对细菌合成生物胺的影响与细菌的种类有关。

3.4 氧气

氧气对不同微生物产生生物胺的影响不同。阴沟肠杆菌在有氧条件下产生的组胺量是厌氧条件下的2倍;而克雷柏氏菌在厌氧条件下产生的尸胺量较少,但却能产生大量的腐胺^[1]。保存条件不同,产生的生物胺含量不同;空气中保存的沙丁鱼生物胺含量最多,真空包装次之,改良的气调包装(40% CO₂/60% O₂)最少^[33]。金枪鱼在冷藏的过程中若使用改良气调包装能有效降低明亮发光杆菌形成的组胺^[28]。相反,虽然盐水四联球菌在厌氧和缺氧条件下的生长速率接近,但厌氧条件下其组胺的产生量要高于缺氧条件^[13]。

3.5 其他影响因素

可利用有机碳(如葡萄糖)的存在不仅能提高细菌的生长速率,而且能提高细菌的氨基酸脱羧酶活性^[1]。盐水四联球菌在没有葡萄糖的环境中产生的组胺量仅为82.1 mg/L,但添加1%~3%的葡萄糖后组胺生成量显著提高到410.6~773.0 mg/L^[13]。Halász等^[1]研究发现,葡萄糖添加量为0.5%~2.0%时,组胺生成量最高,但当添加量超过3%时会显著抑制氨基酸脱羧酶活性。另外,阿拉伯糖也能显著影响酒酒球菌生成酪胺和亚精胺的量。酒酒球菌生成生物胺的量也受到基质中酒精含量的影响,酒精含量为8%时酪胺含量最多,酒精含量为12%时亚精胺含量最多;另外基质中SO₂、VB₆和磷酸盐含量也会显著影响其生成的组胺量^[34]。基质中不断积累的组胺也会抑制组胺酸合成酶的活性^[1]。某些酚醛树脂类化合物也会显著影响生物胺的形成。希氏乳酸菌X1B(*Lactobacillus hilgardii* X1B)将胍丁酸转化为腐胺的过程会受到基质中原儿茶酸、香草酸、咖啡酸及黄酮类儿茶素和芸香苷的抑制^[35]。原材料也会影响到食物发酵过程中生物胺的积累,使用鲜鱼作为原材料能显著降低鱼露中生物胺的含量^[36]。

4 生物胺的毒性及其在食品中的限量

人体内少量的生物胺对血管和肌肉有明显的舒张和收缩作用,对精神活动 and 大脑皮层有重要的调节作用,能促进DNA、RNA和蛋白质的合成,然而食用含有高浓度生物胺的食品却会导致毒性反应^[4]。组胺中毒在全世界范围内都有发生,基于反应类型的不同,生物胺分为两类:影响精神类和影响血管类;作用于精神类的生物胺能影响中枢神经系统的递质传递,作用于血管类的生物胺能直接或间接的影响血管系统。组胺、腐胺和尸胺是影响精神类的生物胺,而酪胺、色胺、苯乙胺是影响血管类的生物胺。组胺会影响外围心血管、毛细血管,导致动脉扩张、低血压、荨麻疹、头痛等症状;酪胺、色胺和苯乙胺会压迫血管,导致高血压;腐胺和尸胺会导



致低血压,并诱发其他生物胺的毒性^[37-38]。生物胺的毒性通常只有在过量摄入、其分解代谢受到抑制或有遗传上的缺失时才会产生。人体的肠道可通过单胺氧化酶和联胺氧化酶对这些化合物进行解毒,但解毒程度因个体的不同而不同,并且受到很多因素的影响。

鱼露及其相关产品中组胺含量为80~400 mg/L会产生轻微毒性,超过400 mg/L会产生中度毒性,超过1 000 mg/L会产生急性毒性。目前许多国家都规定了食物中生物胺的安全剂量,英国1992年规定的制造标准中组胺的含量不得超过100 mg/L。为了控制鲭鱼和鲱鱼中的组胺量,欧盟规定每批样本中抽检的9个独立样品必须符合以下条件:1)组胺平均含量不得超过100 mg/L;2)含量介于100~200 mg/L的样品数目不得超过2个;3)不得有样品组胺含量超过200 mg/L。澳大利亚、新西兰当局规定在鱼类及鱼类产品抽检混合样中组胺含量不得超过200 mg/kg。美国食品和药物管理局规定食品中组胺含量不得超过50 mg/L。加拿大鱼类检测局设置鱼露中组胺的含量不得超过200 mg/L^[10]。另外,食物中酪胺含量超过100 mg/L,苯乙胺含量超过30 mg/L时认为对人体有害,然而其他生物胺的毒性阈值水平未见报道。

5 生物胺的降解

生物胺主要通过氧化脱氨基作用降解并产生醛类、氨类和氢类物质,催化该过程的胺氧化酶大量存在于人和动物体内。许多从鱼露中分离出的微生物,如葡萄球菌有降解组胺、腐胺和尸胺的能力^[39]。研究发现从食物中分离出的有机胺降解菌多属于乳酸菌、微球菌、节细菌(*Arthrobacter*),其中的乳酸片球菌(*Pediococcus acidilactici*)、亚麻短杆菌(*Brevibacterium linens*)、念珠地丝菌(*Geotrichum candidum*)、肉葡萄球菌(*Staphylococcus carnosus*)均含有不同活性的组胺和酪胺氧化酶^[3,40]。

胺氧化酶降解组胺会受到温度的影响,例如:清酒乳杆菌虽在15℃和22℃时均可降解组胺,但在37℃降解速率最高,30 h内能降解20%~56%的组胺^[41]。从腊肠中分离出的木糖葡萄球菌(*Staphylococcus xylosus*)能降解组胺和酪胺^[42],其中木糖葡萄球菌S81能完全降解组胺,木糖葡萄球菌S142在37℃培养48 h后能降解63%的酪胺、47%的组胺。

6 控制生物胺积累的措施

因鱼露中胺类物质一旦形成则很难去除,且有热稳定性,高温烹饪也不能去除已经形成的生物胺,所以我们应尽力避免食品中生物胺的积累以确保其安全^[43]。

6.1 原材料的选择

原材料的卫生质量是影响鱼露发酵中生物胺含量的关键因素。如果原料肉在加工前受到污染,则会造成肠杆菌、肠球菌、假单胞菌等细菌的生长繁殖,这些微生物都具有氨基酸脱羧酶活性,造成原料肉在使用之前就含有大量的生物胺。在鱼露发酵过程中,即使这些细菌死亡,氨基酸脱羧酶仍具有活性,从而使鱼露中的生物胺在生产、贮存过程中大量积累。选用新鲜的原材料能有效避免鱼露中生物胺的形成,例如使用鲜鱼制作的鱼露其生物胺的含量显著降低^[44]。新鲜的鲭鱼肉内不含组胺,但将鲜鱼在室温下保存48 h后,组胺含量猛增至1 540 mg/kg,若将鱼体在0℃贮存18 d后只有少量组胺生成^[45]。真空包装在抑制水产品内生物胺含量方面并无优越性,低温贮存的抑制效果要好于真空包装,采用改良的气调包装在控制水产品中生物胺的产生方面则有一定作用。

6.2 发酵剂的使用

微生物能代谢产生生物胺,是因为该类微生物具有编码并表达氨基酸脱羧酶的基因片段。选用不表达氨基酸脱羧酶的菌株作为发酵剂被认为是控制生物胺含量的最有效手段。有研究表明,接种了氨基酸脱羧酶活性缺陷型清酒乳杆菌CTC494的香肠,其酪胺的含量极大地减少,尸胺和腐胺的产生也受到抑制。筛选高产细菌素的菌株作为发酵剂也是控制鱼露中生物胺的有效方法,细菌素产生菌株能通过产生细菌素来抑制产生生物胺菌株,从而降低发酵食品中的生物胺含量。Kalač等^[46]从阿根廷香肠中分离出了一株干酪乳杆菌CUL705,能产生除乳酸和过氧化氢以外的乳酸菌素,它能抑制植物乳杆菌、李斯特菌、金黄色葡萄球菌和大多数革兰氏阴性菌。还可用分子生物学手段改良菌株使其氨基酸脱羧酶活性不予表达,从而控制生物胺的积累。选用具有高胺氧化酶活性的菌株作为发酵剂,也可降低鱼露生产中生物胺的积累^[41]。

6.3 添加胺降解菌

最近几年,利用微生物胺氧化酶降低食物内生物胺含量的研究受到了研究者的广泛关注。在香肠发酵过程中添加变异微球菌(*Micrococcus varians*)能降低香肠中的酪胺含量^[37]。在卷心菜发酵的开始阶段接种弯曲乳酸菌(*Lactobacillus curvatus*)能降低酸菜中酪胺的含量^[1]。在德国泡菜的发酵过程中接种植物乳酸菌(*Lactobacillus plantarum*)能有效抑制组胺、腐胺、尸胺的形成^[45]。在鱼露生产中也可以采用类似的接种生物胺降解菌的方法来降低鱼露中生物胺含量。例如添加木糖葡萄球菌(*Staphylococcus xylosus*)能有效降低鲱鱼鱼露中组胺和酪胺的积累量^[39],在鲢鱼发酵中加入混合的氨基酸脱羧酶降解菌能有效降低组胺、腐胺、尸胺、酪胺和色胺的积累量^[42]。



6.4 发酵条件的优化

原材料或环境中的细菌产生生物胺类物质的过程受到各种环境条件的影响,如温度、溶氧、pH值、盐度、以及糖含量等均会影响到细菌的活性,条件不同会导致相同的原材料产生出不同的生物胺类物质。因为生物胺的产生受很多因素影响,在正常的发酵条件下控制每个因素很难。因此,阻止生物胺类物质在鱼露中积累的有效方式就是使用未损坏的鱼类原材料,避免在准备和发酵过程中受到的污染,选用适宜的环境条件,添加不表达氨基酸脱羧酶的菌株作为发酵剂,最好能在发酵系统中添加安全的有机胺类降解菌。通过这一系列的努力,使最终的鱼露产品中生物胺的含量达到可以安全食用的标准。

7 结 语

组胺、腐胺、尸胺、酪胺是鱼露中最常见的生物胺,同时含有微量的色胺和苯乙胺。鱼露中生物胺主要是鱼露原材料中游离氨基酸在肠杆菌、微球菌、乳酸菌等的氨基酸脱羧酶作用下分解的结果。这些细菌产生生物胺的过程受到各种环境条件,例如温度、溶氧、pH值、盐度以及糖含量等的影响,任何一个条件的改变均可能会影响到最终鱼露产品中的生物胺含量。因此在正常的发酵条件下试图控制每个影响因子很难做到。可以通过使用新鲜的鱼类原材料,避免原材料在准备和发酵过程中受到外来污染,及在发酵系统中添加安全的有机胺类降解菌等方法,达到抑制鱼露中生物胺积累的目的,以保证最终的鱼露产品安全。

参考文献:

- [1] HALÁSZ A, BARÁTH Á, 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. DOI:10.1016/0924-2244(94)90070-1.
- [2] TETI D, VISALLI M, MCNAIR H. Analysis of polyamines as markers of (patho) physiological conditions[J]. Journal of Chromatography B, 2002, 781(1): 107-149. DOI:10.1016/S1570-0232(02)00669-4.
- [3] BODMER S, IMARK C, KNEUBUHL M. Biogenic amines in foods: histamine and food processing[J]. Inflammation Research, 1999, 48(6): 296-300. DOI:10.1007/s000110050463.
- [4] SHALABY A R. Significance of biogenic amines to food safety and human health[J]. Food Research International, 1996, 29(7): 675-690. DOI:10.1016/S0963-9969(96)00066-X.
- [5] LEUSCHNER R G, HEIDEL M, HAMMES W P. Histamine and tyramine degradation by food fermenting microorganisms[J]. International Journal of Food Microbiology, 1998, 39(1): 1-10. DOI:10.1016/S0168-1605(97)00109-8.
- [6] MAH J H, HAN H K, OH Y J, et al. Biogenic amines in jeotkals, Korean salted and fermented fish products[J]. Food Chemistry, 2002, 79(2): 239-243.
- [7] REITER R J, TAN D X, JOU M J, et al. Biogenic amines in the reduction of oxidative stress: melatonin and its metabolites[J]. Neuro Endocrinology Letters, 2008, 29(4): 391-398.
- [8] SANCEDA N G, KURATA T, ARAKAWA N. Accelerated fermentation process for the manufacture of fish sauce using histidine[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(1): 220-222. DOI:10.1111/j.1365-2621.1996.tb14764.x.
- [9] TSAI Y H, LIN C H, CHIEN L T, et al. Histamine contents of fermented fish products in Taiwan and isolation of histamine-forming bacteria[J]. Food Chemistry, 2006, 98(1): 64-70. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.04.036.
- [10] BRILLIANTES S, SAMOSORN W. Determination of histamine in fish sauce from Thailand using a solid phase extraction and high performance liquid chromatography[J]. Fisheries Science, 2001, 67(6): 1163-1168. DOI:10.1046/j.1444-2906.2001.00375.x.
- [11] STUTE R, PETRIDIS K, STEINHART H, et al. Biogenic amines in fish and soy sauce[J]. European Food Research and Technology, 2002, 215(2): 101-107.
- [12] NOUT M J R. Fermented foods and food safety[J]. Food Research International, 1994, 27(3): 91-298. DOI:10.1016/0963-9969(94)90097-3.
- [13] KIMURA B, KONAGAYA Y, FUJII T. Histamine formation by *Tetragenococcus muritatus*, a halophilic lactic acid bacterium isolated from fish sauce[J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 70(1): 71-77.
- [14] STRATTON J E, HUTKINS R W, TAYLOR S L. Biogenic amines in cheese and other fermented foods: a review[J]. Journal of Food Protection, 1991, 54(6): 460-470.
- [15] SOUFLEROS E, BARRIOS M L, BERTRAND A. Correlation between the content of biogenic amines and other wine compounds[J]. American Journal of Enology and Viticulture, 1998, 49(3): 266-278.
- [16] DEL PRETE V, COSTANTINI A, CECCHINI F, et al. Occurrence of biogenic amines in wine: the role of grapes[J]. Food Chemistry, 2009, 112(2): 474-481. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.05.102.
- [17] SANTOS M H S. Biogenic amines: their importance in foods[J]. International Journal of Food Microbiology, 1996, 29(2): 213-231. DOI:10.1016/0168-1605(95)00032-1.
- [18] NAMWONG S, TANASUPAWAT S, VISESSANGUAN W, et al. *Halococcus thailandensis* sp. nov. from fish sauce in Thailand[J]. International Journal of Systematic Evolutionary Microbiology, 2007, 57(10): 2199-2203.
- [19] YOSINAGA D H, FRANK H A. Histamine producing bacteria in decomposing skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*)[J]. Applied and Environmental Microbiology, 1982, 44(2): 447-452.
- [20] TSAI Y H, LIN C H, CHANG S C, et al. Occurrence of histamine and histamine-forming bacteria in salted mackerel in Taiwan[J]. Food Microbiology, 2005, 22(5): 461-467. DOI:10.1016/j.fm.2004.11.003.
- [21] MAH J H, CHANG Y H, HWANG H J. *Paenibacillus tyraminigenes* sp. nov. isolated from Myeolchi-jeotgal, a traditional Korean salted and fermented anchovy[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 127(3): 209-214. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2008.07.002.
- [22] HERNÁNDEZ-HERRERO M M, ROIG-SAGUÉS A X, RODRÍGUEZ-JEREZ J J, et al. Halotolerant and halophilic histamine-forming bacteria isolated during the ripening of salted anchovies (*Engraulis encrasicolus*)[J]. Journal of Food Protection, 1999, 62(5): 509-514.
- [23] KUNG F H, CHIEN L T, LIAW E T, et al. Chemical characterization and histamine forming bacteria in salted mullet roe products[J]. Food Chemistry, 2008, 110(2): 480-485. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.02.029.



- [24] SATOMI M, FURUSHITA M, OIKAWA H, et al. Analysis of a 30 kbp plasmid encoding histidine decarboxylase gene in *Tetragenococcus halophilus* isolated from fish sauce[J]. International Journal of Food Microbiology, 2008, 126(1): 202-209. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2008.05.025.
- [25] DALGAARD P, MADSEN H L, SAMIEIAN N, et al. Biogenic amines formation and microbial spoilage in chilled garfish (*Belone belone*): effect of modified atmosphere packaging and previous frozen storage[J]. Journal of Applied Microbiology, 2006, 101(1): 80-95. DOI:10.1111/j.1365-2672.2006.02905.x.
- [26] GARDINI F, MARTUSCELLI M, CARUSO M C, et al. Effect of pH, temperature and NaCl concentration on the growth kinetic, proteolytic activity and biogenic amines production of *Enterococcus faecalis*[J]. International Journal of Food Microbiology, 2001, 64(1): 105-117. DOI:10.1016/S0168-1605(00)00445-1.
- [27] MASSON F, LEBERT A, TALON R, et al. Effect of physico-chemical factors influencing tyramine production by *Carnobacterium divergens*[J]. Journal of Applied Microbiology, 1997, 83(1): 36-42.
- [28] 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. DOI:10.1016/j.ijfoodmicro.2004.12.001.
- [29] PALEOLOGOS E K, SARVAIDIS I N, KONTOMINAS M G. 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 Microbiology, 2004, 21(5): 549-557. DOI:10.1016/j.fm.2003.11.009.
- [30] REZAEI M, MONTAZERI N, LANGRUDI H E, et al. The biogenic amines and bacterial changes of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) stored in ice[J]. Food Chemistry, 2007, 103(1): 150-154. DOI:10.1016/j.foodchem.2006.05.066.
- [31] KUNG H F, LEE Y H, TENG D F, et al. Histamine formation by histamine forming bacteria and yeast in mustard pickle products in Taiwan[J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 579-585.
- [32] SUZZI G, GARDINI F. Biogenic amines in dry fermented sausages: a review[J]. International Journal of Food Microbiology, 2003, 88(1): 41-54.
- [33] ÖZOGUL F, ÖZOGUL Y. Biogenic amine content and biogenic amine quality indices of sardine (*Sardina pilchardus*) stored in modified atmosphere packaging and vacuum packaging[J]. Food Chemistry, 2006, 99(3): 574-578. DOI:10.1016/j.foodche.2005.08.029.
- [34] GARDINI F, ZACCARELLI A, BELLETTI N, et al. Factors influencing biogenic amine production by strain of *Oenococcus oeni* in model system[J]. Food Control, 2005, 16(7): 609-616.
- [35] ALBERTO M R, ARENA M E, MANCA M C M D. Putrescine production from agmatine by *Lactobacillus hilgardii*: effect of phenolic compounds[J]. Food Control, 2007, 18(8): 898-903. DOI:10.1016/j.foodcont.2006.05.006.
- [36] BRILLIANTES S, PAKNOI S, TOTAKIEN A. Histamine formation in fish sauce production[J]. Journal of Food Science, 2002, 67(6): 2090-2094.
- [37] BRINK B T, 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.
- [38] LÜTHY J, SCHLATTER C. Biogenic amines in food: effects of histamine, tyramine and phenylethylamine in the human[J]. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung, 1982, 177(6): 439-443.
- [39] SANCEDA N G, SUZUKI E, OHASHI M, et al. Histamine behavior during the fermentation process in the manufacture of fish sauce[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1999, 47: 3596-3600. DOI:10.1021/jf9812174.
- [40] LEHANE L, OLLEY J. Histamine fish poisoning revisited[J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 58(1): 1-37. DOI:10.1016/S0168-1605(00)00296-8.
- [41] DAPKEVICIUS M L N E, NOUT M J R, ROMBOUTS F M, et al. Biogenic amine formation and degradation by potential fish silage starter microorganisms[J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 57(1): 107-114. DOI:10.1016/S0168-1605(00)00238-5.
- [42] MARTUSCELLI M, CRUDELE M A, GARDINI F, et al. Biogenic amine formation and oxidation by *Staphylococcus xylosum* strains from artisanal fermented sausages[J]. Letters in Applied Microbiology, 2000, 31(3): 228-232. DOI:10.1046/j.1365-2672.2000.00796.x.
- [43] DURR F, KASSUROK B, SCHÖBER B. Biogenic amines in raw fish and fried fish products[J]. Lebensmittel Industrie, 1980, 27: 253-257.
- [44] YONGSAWATDIGUL J, CHOI Y J, UDOMPORN S. Biogenic amines formation in fish sauce prepared from fresh and temperature-abused Indian anchovy (*Stolephorus indicus*)[J]. Journal of Food Science-Chicago, 2004, 69: 312-319.
- [45] SANTOS-BUELGA C, PEÑA-EGIDO M J, RIVAS-GONZALO J C. Changes in tyramine during chorizo-sausage Ripening[J]. Journal of Food Science, 1986, 51(2): 518-519. DOI:10.1111/j.1365-2621.1986.tb11172.x.
- [46] KALAČ P, ŠPIČKA J, KŘÍŽEK M, et al. The effects of lactic acid bacteria inoculants on biogenic amines formation in sauerkraut[J]. Food Chemistry, 2000, 70(3): 355-359. DOI:10.1016/S0308-8146(00)00103-5.