

文章编号:1000-0615(2006)02-0272-05

综述·

水产品中生物胺的研究进展

赵利¹, 苏伟¹, 刘建涛¹, 胡火根², 戴银根²

(1. 江西科技师范学院生命科学学院, 江西 南昌 330013;

2. 江西省水产技术推广站, 江西 南昌 330046)

关键词: 水产品; 生物胺; 生理活性

中图分类号: S984 文献标识码: A

Research progress of biogenic amine in aquatic product

ZHAO Li¹, SU Wei¹, LIU Jian-tao¹, HU Huo-gen², DAI Yin-gen²

(1. School of Life Science, Jiangxi Normal University of Science and Technology, Nanchang 330013, China;

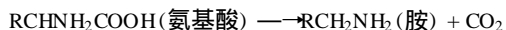
2. Jiangxi Aquaculture Technology Spreading Center, Nanchang 330046, China)

Abstract: Biogenic amines are basic nitrogenous compounds with low-molecule-mass, and occur universally in animals, plants and fermented foods. Biogenic amines possess the function of physiology and toxicity. Biogenic amines are formed by decarboxylation of their precursor amino acids, as a result of the action of either endogenous amino acid decarboxylase activity or by the growth of decarboxylase positive microorganisms. The content of biogenic amine depended on the characteristic of food and the varieties of microorganisms in it. A lot of proteins existed in aquatic products, and peptides and amino acids were produced in the course of processing and storing. Subsequently biogenic amines were transformed easily by these low-molecule-mass matters. The varieties and the biosynthetic mechanism of biogenic amines, and the factors affecting the formation of biogenic amines in different aquatic product were summarized. The analytical methods for the determining of biogenic amines were introduced, and the control measures preventing the formation of biogenic amines were discussed.

Key words: aquatic product; biogenic amine; physiological activity

1 前言

生物胺(biogenic amine)是一类低分子量含氮有机化合物的总称。在生物体内,生物胺最主要的生物合成途径是氨基酸经脱羧酶类催化的脱羧反应,生成相应的胺和CO₂,通式如下:



也有部分是通过醛或酮的胺化和转胺作用形成的^[1,2]。一些生物胺的结构特征及其前体物质见表1。

氨基酸脱羧酶存在于动物、植物和微生物中。微生物的氨基酸脱羧反应较多,可以形成多种胺,但是氨基酸的

脱羧反应并不是氨基酸代谢的主要方式。一般脱羧酶都是诱导酶,即要有相应的氨基酸存在,才能形成相应的脱羧酶。含有一个氨基的一元氨基酸脱羧后产生一元胺,含有二个氨基的二元氨基酸脱羧后生成二元胺(尸胺和腐胺),这一类胺对人体有害。当肉类蛋白质腐败后,经细菌脱羧酶的作用即产生二元胺,对人体有毒,不能食用。

生物胺广泛存在于动物、植物和发酵食品中,它的含量主要取决于食品的特性和存在微生物的种类^[3-6]。水产品富含蛋白质,在加工和贮藏过程中会产生多肽和氨基酸,这些小分子物质容易进一步转化为生物胺。随着人民生活水平的提高,消费者对水产品鲜度及其加工制品安全

收稿日期:2005-07-13

资助项目:江西省科技厅农业攻关计划项目(赣科发计字2004第268号)

作者简介:赵利(1967-),女,江西大余人,教授,博士,主要从事生物技术在食品中应用的研究。E-mail:lizhao618@hotmail.com

性的要求也越来越高。我国水产品鲜活销售量占总渔获量的 65%~70%,而在剩余的保鲜加工品中,有 70%是冷冻或冷藏保鲜的。由于技术水平的进步,不断涌现新的加工保藏技术,这些技术能保证水产品安全性、适口性、营养性或新鲜度,但是水产品的安全越来越得到人们的关注。研究水产品中生物胺主要有两方面原因:(1)生物胺具有潜在的毒性;(2)生物胺可以作为水产品腐败或新鲜程度的指标^[7,8]。

表 1 生物胺的前体物质

结构特征 characteristic of structures	生物胺 biogenic amines	前体物质 precursors
杂环化合物 heterocyclic compounds	组胺 histamine	组氨酸 His
	色胺 tryptamine	色氨酸 Try
芳香族化合物 aromatic compounds	酪胺 tyramine	酪氨酸 Tyr
脂肪族化合物 aliphatic compounds	精胺 spermine	精氨酸 Arg
	亚精胺 spermidine	精氨酸 Arg
	尸胺 cadaverine	赖氨酸 Lys
	腐胺 putrescine	鸟氨酸 Orn

2 生物胺的作用

2.1 生物胺的生理作用

生物胺是激素、生物碱、核酸和蛋白质合成的前体物质,对维持正常的内脏功能和免疫系统的代谢活性是不可缺少的。在生物活性细胞中发挥着重要作用,可以促进生长和代谢、增强肠道系统免疫活性,并在神经系统中发挥活性,如控制血压等^[2]。Yen 和 Kao 研究证实,尸胺、亚精胺和腐胺等具有清除自由基的作用;酪胺具有显著抗氧化作用,且与其浓度成正相关^[9]。Lovaas 证实,精胺、亚精胺和尸胺等可以抑制不饱和脂肪酸的氧化,而且氧化效果与多胺中氨基数目有关^[10]。虽然细胞具有合成生物胺的能力,但生物体仍需要不断地从食品中吸收生物胺,大量的生物胺被输送到身体的各个器官而并不都存留在内脏组织中。蛋白质类食品中含有一定量的生物胺对人体是有益的。

2.2 生物胺的毒性作用

生物胺在人体内蓄积到较高含量时就会产生毒性,如外部血管膨胀导致高血压和头痛,以及肠道平滑肌的收缩造成腹部痉挛、腹泻和呕吐等^[11]。生物胺在体内可形成 NH_4^+ ,对组织中带负电荷的部位能发生较强的吸引力。氮原子的未共用电子对又能产生氢键作用,会强烈地干扰体

内代谢,其毒性大小依次为伯胺(RNH_2)、仲胺(R_2NH)和叔胺(R_3N)^[12]。

水产品中最具毒性的生物胺是组胺。组胺通过与细胞膜上的两类受体(H_1 和 H_2)作用而发挥毒性。通过受体 H_1 ,组胺可以引发末梢血管扩张导致高血压和头疼。组胺诱导的胃肠道肌肉收缩会引发腹部抽筋、腹泻和呕吐。通过位于腔壁细胞的受体 H_2 ,组胺可以控制胃酸分泌^[3]。酪胺可以促进末梢血管收缩,刺激心律加快,增强呼吸作用,增加血糖浓度,消除神经系统中的去甲肾上腺素,引发偏头疼。腐胺和尸胺引发低血压、破伤风、四肢痉挛。-苯乙胺可以消除神经系统中的去甲肾上腺素,增加血压,引起偏头疼。色胺可以增加血压。

生物胺是生成致癌物质和亚硝基类物质的前体。二胺(腐胺和尸胺)不仅能加强组胺的毒性,而且还会与亚硝酸盐反应生成杂环类致癌亚硝胺、亚硝基吡咯烷、亚硝基吡啶^[2,13,14]。酪胺是动物体内的主要致突变前体物质^[15]。

3 水产品中的生物胺

青皮红肉鱼,如鲈、鲢以及鲭鱼、鲱鱼、沙丁鱼、秋刀鱼、金枪鱼和竹筴鱼等,当鱼体不新鲜时可产生大量的生物胺(组胺、腐胺、尸胺、酪胺、精胺和亚精胺)^[3]。食用后引起食物中毒,而发酵的水产制品中生物胺的含量更高。表 2 列出了几种水产品中生物胺的含量^[3,16]。

目前,鱼中毒发病率较高,多数来源于腐败的鲭科鱼(如金枪鱼和鲭鱼)。鲭科鱼类体内含有较多游离的组氨酸,其含量随鱼种类的不同而变化,如金枪鱼体内组氨酸含量大约为 $15 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而鲱体内组氨酸含量则仅为 $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在适宜条件下,组氨酸可在微生物的组氨酸脱羧酶作用下生成组胺。组胺是海产鲭科鱼类中含量最多和最主要的生物胺,甚至达到 $842 \sim 2\,503 \text{ mmol} \cdot (100\text{g})^{-1}$ ^[17]。生物胺中组胺对人体健康的影响最大,其次是酪胺^[18]。一些国家的政府建议用组胺作为水产品微生物腐败的指标^[16]。组胺中毒的症状主要是皮疹、面部潮红、呕吐、腹泻、呼吸困难、喉部发紧、头痛并感到口中有金属味或胡椒味。Parente 等^[19]报道分别口服 $8 \sim 40 \text{ mg}$ 、 $40 \sim 100 \text{ mg}$ 和超过 100 mg 组胺会产生轻微、中等和严重中毒症状。Sandler 等^[20]报道,服用 3 mg 的苯乙胺会引起偏头疼,当食品中生物胺含量达到 $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时会对人体健康造成极大的危害。除了组胺和酪胺本身的作用外,其他生物胺的存在会增强组胺和酪胺的不良作用。

生物胺的毒性作用与许多因素有关,如其他生物胺和胺类氧化酶的存在、肠道的解毒功能等。因此,很难确定一个标准来衡量生物胺的毒性域值。欧美及我国对部分水产品中组胺含量做了限量要求:美国 FDA 要求进口水产品组胺不得超过 $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;欧盟规定鲭科鱼类中组胺含量不得超过 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;其他食品中组胺不得超过 100

mg kg⁻¹,酪胺不得超过 100~800 mg kg⁻¹;我国规定鲐中组胺不得超过 1000 mg kg⁻¹;其他鱼类中组胺含量不得超过 300 mg kg⁻¹[13]。

Jaе-Hyung 等^[15]测定了 11 种韩国传统腌制发酵的鱼制品 Jeotkals 中的生物胺含量。在 4、10 和 15 条件下贮存 20 d,其中 8 种 Jeotkals 中的腐胺、尸胺、组胺、酪胺、精胺和亚精胺的含量在 0~70 mg kg⁻¹ 范围内。虽然还有一种 Jeotkals 中的尸胺、组胺、酪胺和亚精胺的浓度较高,但是这些 Jeotkals 中生物胺的含量对人体健康没有危害。

水产品经过长时间贮存可以产生各种生物胺,这些生物胺很容易与亚硝酸盐发生反应生成亚硝胺。熏鱼和咸鱼含有亚硝胺,腌制的水产品如果再用烟熏,则其中亚硝胺的含量将会增加。鱼类在经亚硝酸盐处理后会自然形成亚硝胺化合物,形成速率与加工时的温度有关。用亚硝酸盐处理冰冻鱼比新鲜鱼产生的亚硝胺要少。一些鱼及其加工制品中亚硝胺的含量见表 3^[21]。

表 2 不同水产品中生物胺的含量

Tab. 2 Content of biogenic amines in different aquatic products mg (100g)⁻¹

种类 species of fishes	产品 products	组胺 histamine	腐胺 putrescine	尸胺 cadaverine
凤尾鱼 anchovy	罐头	1625	60	228
	鱼酱	3440	37	184
鲱 menhaden	鲜鱼	1	6	2
	罐头	11.7	122	35
鲭 mackerel	熏鱼	-	44	-
	鲜鱼	127	56	286
	冷冻鱼	0.1	1.6	0.05
	罐头	36	35	59
金枪鱼 tunny	熏鱼	1788	49	252
	罐头	2000	200	447
沙丁鱼 sardine	罐头	850	115	270
鲛 spanish mackerel	新鲜	336	-	-
	鲟 turbot fish	新鲜	20	-
带鱼 hairtail	新鲜	11	-	-
黄鱼 yellow-fin tunna	新鲜	12.5	-	-

注: 指文献中可以查到的最高含量

Notes: indicates the maximum content that can be searched in literatures

表 3 一些鱼类及其加工制品中亚硝胺的含量

Tab. 3 Content of nitrosamine in some fish and processing product

食品种类 kinds of food	加工方法 methods of processing	亚硝胺含量(μg kg ⁻¹) content of nitrosamine
鲤 carp	新鲜	4
熏鱼 smoked fish	烟熏	4~9
咸鱼 salted fish	亚硝酸盐处理	12~24
腊鱼 preserved fish	烟熏,亚硝酸盐处理	20~26

水产加工工业中产生约 60% 的下脚料,这些下脚料富含氨基酸、蛋白质和脂肪,经过乳酸菌发酵后可以得到口感、卫生和营养价值改善的食品和饲料。但是在发酵过程中,随着 pH 值的降低和较低的氧浓度,促进了氨基酸脱羧酶的活性,加速产生潜在的毒性物质——生物胺^[22]。

4 水产品中生物胺产生的原因

水产品中生物胺主要是通过其中存在的微生物所产生的氨基酸脱羧酶的脱羧作用而生成的。所以生物胺的产生需要以下 3 方面的条件^[11]: (1) 存在生成生物胺的前体物质——游离氨基酸; (2) 有氨基酸发生脱羧反应的条件; (3) 适宜微生物生长的环境。

4.1 游离氨基酸

游离氨基酸是生物胺的前体物质,它对水产品中生物胺形成起着重要作用。水产品中游离氨基酸的量和种类对氨基酸脱羧酶的活力产生影响。组氨酸量过高时会抑制组氨酸脱羧酶的活性,因此组胺会降低 *Photobacterium histaminum* C-8 的活力,组胺和腐胺也会抑制 *Phosphoreum N-14* 的组胺酸脱羧酶活力。

4.2 原料中的微生物

并非所有种类的微生物都会产生氨基酸脱羧酶,具有此种作用的菌种有 *Bacillus*、*Citrobacter*、*Klebsiella*、*Escherichia*、*Proteus*、*Pseudomonas*、*Salmonella*、*Shigella*、*Photobacterium* 和乳酸菌中的 *Lactobacillus*、*Pediococcus*、*Streptococcus* 等。水产品中产生组胺的主要微生物为 *Morganella morganni*、*Klebsilla pneumoniae* 中的部分菌和多数 *Hefnia alvei* 菌^[3]。Morii 等^[23]研究认为低温保藏的鲭科鱼体内的组胺可能主要由一种嗜冷菌 *Photobaterium phosphoreum* 产生。现已证实 *Staphylococcus* spp.、*Vibro* spp. 和 *Pseudomonas* spp. 是发酵水产品中的组胺产生菌^[3]。

4.3 加工和贮藏环境条件

加工和贮藏环境条件是影响氨基酸脱羧酶活性的主要因素,包括 pH 值、温度、贮藏时间、含盐度和供氧量等。

pH 值 pH 值对氨基酸脱羧酶活性影响很大。pH 4.0~5.5 范围内的酸性环境会增加氨基酸脱羧酶活性^[24]。Santos 等^[25]研究发现,当 pH 值很低时鲭鱼体内酪胺含量会急剧升高。Baranowski 等^[26]研究发现,从金枪鱼体内分离得到的 *Klebsiella pneumoniae* UH-2 将组氨酸转化为组胺的最佳 pH 值为 4.0,在 pH 值为 6.0 时它的活力仅保存 70%。有研究者认为,微生物产生生物胺是微生物抵抗酸性环境而形成的一种生理机能^[11,24,27]。此外,酸性条件下鱼体内的组织蛋白酶活力增强,导致鱼肌肉蛋白质降解成多肽和氨基酸,它们经过氨基酸脱羧酶作用后,形成各种生物胺^[24]。

贮藏温度和时间 产胺菌在低温条件下生长缓慢,氨基酸脱羧酶活性也较低。Yoshida 和 Nakamura^[28]研究鲜鲭鱼组胺生成的最佳温度为 37.8℃,但是贮存于 -20

的鲭鱼和沙丁鱼的肌肉组织中仍有生物胺的生成。Salguero 和 Macki^[29]发现鲭鱼在 0℃ 贮存 18 d 后依然有少量组胺生成;而在 10℃ 贮存 5 d 后,在其肝脏及肌肉内的组胺含量达到 1 000 mg·kg⁻¹。Murray 等^[30]发现在冰中保存的鲭鱼即使到了不能食用的程度,体内的组胺含量也不会超过 50 mg·kg⁻¹,而当温度较高,尤其在 10℃ 以上时,将会导致组胺含量较高。Yoshida 和 Nakamura^[28]研究发现鲜鲭鱼肉不含组胺,但将鲜鲭鱼在室温下保存 24 h 后组胺含量为 28.4 mg·kg⁻¹,而 48 h 后又增至 1540 mg·kg⁻¹,他们在鲑鱼身上也发现这种现象存在。Klausen 和 Lund 报道,鲭鱼和鲱鱼体内的生物胺含量与温度是相关联的,10℃ 贮存鱼体内生物胺含量是 2℃ 贮存的 20 倍^[31]。

添加剂 一般认为生物胺的生成量随盐浓度降低而升高。Hardy 和 Smith^[31]研究发现鲭鱼体内组胺在高盐环境中几乎无法生成,因为盐浓度升高会抑制组氨酸的脱羧反应,但发光细菌却可以在 NaCl 含量高达 12% 的环境中产生生物胺。鲭鱼贮存在 5℃ 时,盐可以完全抑制组胺的生成,而与盐浓度无关;贮存在 25℃ 时,抑制组胺的生成效果与盐浓度的增加成正比。在鲭鱼肉中添加葡萄糖和蔗糖可以促进组胺的生成。一定浓度的甘氨酸、抗坏血酸、柠檬酸、苹果酸和琥珀酸可以抑制组胺的生成^[31]。

供氧量 影响生物胺生物合成的另一个重要因素是供氧量^[32]。鱼下脚料在青贮的过程中低氧浓度有利于提高氨基酸脱羧酶活性^[22]。*Klebsiella pneumoniae* 在厌氧条件下生成尸胺量较少,但却有较强的产腐胺能力。空气中 CO₂ 含量达到 80% 时,*Proteus morgani* 的组胺酸脱羧酶活性会受到抑制。

5 水产品中生物胺的测定方法

近年来,作为食品质量指标的生物胺的检测已经变得尤其重要^[9]。食品中单一生物胺的测定方法有多种,如荧光分析法、薄层层析法、液相色谱法、气相色谱法以及生物学方法等。

Williams 等^[3]利用荧光分析法测定了鱼体内组胺含量,首先用甲醇萃取样品,再利用离子交换柱分离出组胺,与邻苯二醛反应,最后测定所得物质的荧光强度。

Shakila 等^[33]利用高效液相色谱法(HPLC)测定了水产品中的多种生物胺,测定结果在 5~100 ng 范围内具有非常好的灵敏度和重现性(<3%)。Hui 和 Taylor^[34]利用 HPLC 柱前衍生化测定了鱼中的组胺、酪胺、尸胺、腐胺、色胺和苯乙胺。这种方法需要一个衍生化步骤,因此清洗工作比较繁琐,而且还可能出现衍生化不完全以及产生副产物的可能。HPLC 在分析过程中由于流动相的稀释作用还可能使得检测器对被测物质的反应灵敏度降低。Cinquina 等^[2]建立了一种利用电导检测器的离子交换色谱法,可以同时测定多种生物胺,生物胺的分离是采用了一种新型低疏水性弱阳离子分析柱。他们利用这个简单、快速有效的

方法对金枪鱼体内的腐胺、尸胺、组胺和亚精胺进行了测定。

Shakila 等^[33]还利用薄层层析法(TLC)测定了水产品中的生物胺,认为虽然薄层层析法比高效液相色谱法的线性范围和重现性差一些,而 TLC 密度计量法能得到最好的定量结果。TLC 具有快速、便宜的优点,适宜于几个样品同时进行快速分析,可以有效地运用于水产品加工企业测定水产品及其加工制品中的生物胺,尤其是组胺以及能加强组胺毒性的腐胺和尸胺。Kovacs 等^[35]研究了利用毛细管电泳(CE)测定食品中生物胺的方法。7 种生物胺(组胺、酪胺、色胺、精胺、亚精胺、尸胺和腐胺)可以在 25~30 min 测定出来,并具有非常好的重复性。Jana Lange^[36]比较了 CE 和 HPLC,认为 CE 具有不需要样品预处理、测样速度快的优点,而 HPLC 具有检测限低的优点。

此外,酶联免疫吸附法(ELISA)也是一种具有潜力的组胺测定方法。

6 水产品中生物胺的控制措施

由于食品中的生物胺多是由微生物引起的,控制原材料和加工环境的卫生条件,避免有害微生物的生长至关重要。对于发酵水产品,尽量选择活性菌种进行短期发酵,而不要选择自然发酵,这样可以防止有毒生物胺的形成^[3,37]。

胺氧化酶可以降解生物胺,避免生物胺的累积,从而降低或解除生物胺的毒性。Dapkevicius 等^[22]从天然鱼下脚料青贮饲料中分离出了 77 种乳酸菌菌株,从中筛选出 5 种产生胺氧化酶的菌株,可以氧化生物胺的氨基,从而达到解毒目的。

参考文献:

- [1] 大连轻工业学院. 生物化学[M]. 北京:中国轻工业出版社,1980.
- [2] Cinquina A, Caly A, Longo F, et al. Determination of biogenic amines in fish tissues by ion-exchange chromatography with conductivity detection[J]. Journal of Chromatography A, 2004, 1032:73 - 77.
- [3] Shalaby A R. Significance of biogenic amines to food safety and human health[J]. Food Research International, 1996, 29: 675 - 690.
- [4] Eerola S, Hinkkanen R, Lindfors E, et al. Liquid chromatographic determination of biogenic amines in dry sausage[J]. Journal of AOAC International, 1993,76: 575 - 577.
- [5] Hernandez-Jover T, Izquierdo-Pulido M, Veciana-Nogues M T, et al. Effect of starter cultures on biogenic amine formation during fermented sausages production[J]. Journal of Food Protection, 1997,60: 825 - 830.
- [6] Ordóñez A I, Iban. F C, Torre P, et al. Formation of biogenic amines in Idiazabal ewe's milk cheese: effect of ripening,

- pasteurization, and starter [J]. *Journal of Food Protection*, 1997, 60: 1371 - 1375.
- [7] Vinci G, Anonelli M L. Biogenic amine: quality index of freshness in red and white meat [J]. *Food Control*, 2002, 13 (3): 519 - 524.
- [8] Martin K, Frantisek V, Lenka V, *et al.* Biogenic amines in vacuum-packed and non-vacuum-packed flesh of carp (*Cyprinus carpio*) stored at different temperatures [J]. *Food Chemistry*, 2004, 88: 185 - 191.
- [9] Yen G C, Kao H H. Antioxidative effect of biogenic amine on the peroxidation of linoleic acid [J]. *Biosci Biotech Biochem*, 1993, 57(1): 115 - 116.
- [10] Lovaas E. Antioxidative effects of polyamines [J]. *J Am Oil Chem Soc*, 1993, 68: 353 - 358.
- [11] Silla S M H. Biogenic amines: their importance in foods International [J]. *J Food Microbiology*, 1996, 29(2): 213 - 231.
- [12] 黄梅丽, 江小梅. 食品化学[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1989.
- [13] Hernandez-Jover T, Izquierdo-Pulido M, Veciana-Nogues M T, *et al.* Biogenic amine and polyamine contents in meat and meat products [J]. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 1997, 45: 2098 - 2102.
- [14] Ordonez 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: 329 - 367.
- [15] 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: 239 - 243.
- [16] 郝宏兰. 水产品中组胺的测定方法研究[J]. *食品科学*, 2000, 21(8): 46 - 48.
- [17] Morrow J D, Margolies G R, Rowland J, *et al.* Evidence that histamine is the causative toxin of scombroid fish poisoning [J]. *N Engl J Med*, 1991, 324(11): 716 - 720.
- [18] Bodmer S, Imark C, Kneubahl M. Biogenic amines in foods: histamine and food processing [J]. *Inflammation Research*, 1999, 48(2): 296 - 300.
- [19] Parente E, Matuscelli 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: 882 - 891.
- [20] Sandler M, Youdin M B H, Hanington E. A phenylethylamine oxidizing defect in migraine [J]. *Nature*, 1974, 250(2): 335 - 336.
- [21] 杨晓泉, 卞华伟. 食品毒理学[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999.
- [22] Dapkevicius M E L N, Robert M J N, Rombouts F M, *et al.* Biogenic amine formation and degradation by potential fish silage starter microorganisms [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2000, 57: 107 - 114.
- [23] Morii H, Cann D C L Y, Murray C K. Formation of histamine by luminous bacteria isolated from scombroid fish [J]. *Bull Jap Soc Sci Fish*, 1986, 52 (11): 2135 - 2141.
- [24] Gökoglu N. Changes in biogenic amines during maturation of sardine *Sardina pilchardus* marinade [J]. *Fisheries Science*, 2003, 69: 823 - 829.
- [25] Santos C, Marin A, Rivas J C. Changes of tyramine during storage and spoilage of anchovies [J]. *J Food Sci*, 1986, 51 (3): 512 - 513, 515.
- [26] Baranowski J D, Brust P A, Frank H A. Growth of klebsiella pneumoniae UH-2 and properties of its histidine decarboxylase system in resting cells [J]. *J Food Biochem*, 1985, 9(2): 349 - 360.
- [27] Halász A, Barán A, Simon-Sarkadi L. Biogenic amines and their production by microorganisms in food [J]. *Trends Food Sci Technol*, 1994, 5: 42 - 48.
- [28] Yoshida A, Nakamura A. Quantitation of histamin in fishes and fishes products by high performance liquid chromatography [J]. *J Food Hyg Soc Jap*, 1982, 23: 239 - 245.
- [29] Salguero J F, Macki I M. Histamine lysine and ornithine decarboxylase bacteria in Spanish salted semipreserved anchovies [J]. *J Food Prot*, 1979, 14 (1): 31 - 36.
- [30] Murray C K, Hobbs G, Gilbert R G. Scombrototoxin and scombrototoxin-like poisoning from canned fish [J]. *J Hyg Camb*, 1982, 88(2): 215 - 218.
- [31] Hardy R, Smith J G M. The storage of mackerel *Scomber scomberu*, development of histamine and rancidity [J]. *J Sci Food Agric*, 1976, 27(3): 595 - 602.
- [32] Claudia R C, Antonio M. Effect of controlled atmospheres enriched with O₂ in formation of biogenic amines in chilled hake (*Mertuiccus merluccius* L.) [J]. *Eur Food Res Technol*, 2001, 212(3): 546 - 550.
- [33] Jeya Shakila R, Vasundhara T S, Kumudavally K V. A comparison of the TLC - densitometry and HPLC method for the determination of biogenic amines in fish and fishery products [J]. *Food Chemistry*, 2001, 75: 255 - 259.
- [34] Hui J Y, Taylor S L. Inhibition *in vivo* histamine metabolism in rats by food borne and pharmacologic inhibitors of diamine oxidase, histamine-N-methyl transferase and monoamine oxidase [J]. *Toxicol Hypo Pharmacol*, 1985, 8: 241 - 249.
- [35] Kovacs A, Simon-Sarkadi L, Ganzler K. Determination of biogenic amines by capillary electrophoresis [J]. *Journal of Chromatography A*, 1999, 836: 305 - 313.
- [36] Lange J, Thomas K, Wittmann C. Comparison of a capillary electrophoresis method with high performance liquid chromatography for the determination of biogenic amines in various food samples [J]. *Journal of Chromatography B*, 2002, 779: 229 - 239.
- [37] Vidal-Carou M C V, Izquierdo-Pulido M, Morro M C M, *et al.* Histamine and tyramine in meat products: relationship with meat spoilage [J]. *Food Chemistry*, 1990, 37: 239 - 249.