

发酵豆制品中生物胺的产生及控制研究进展

刘旭¹, 王军², 课净璇², 马艳莉^{1,2*}, 席晓丽¹, 王印壮¹, 谷晓东¹

(1. 河北农业大学 食品科技学院, 河北 保定 071000; 2. 南阳理工学院 张仲景国医国药学院, 河南 南阳 473004)

摘要: 发酵豆制品主要包括腐乳、豆豉、酱油和豆酱等, 豆制品在发酵过程中容易在微生物的作用下产生多种潜在有毒代谢物, 其中生物胺(biogenic amines, BAs)是影响发酵豆制品质量安全的重要风险因子之一。过量食用含 BAs 的食物会引起中毒, 但目前国内没有发酵豆制品统一的 BAs 限量标准。该文对发酵豆制品中 BAs 的产生机理、影响因素以及控制方法进行综述, 旨在通过优化发酵豆制品的生产工艺控制 BAs 的形成, 提高发酵豆制品的质量, 推动我国发酵豆制品健康和稳定发展。

关键词: 发酵豆制品; 生物胺; 检测; 控制; 发酵菌株

Production and Control of Biogenic Amines in Fermented Soybean Products

LIU Xu¹, WANG Jun², KE Jing-xuan², MA Yan-li^{1,2*}, XI Xiao-li¹, WANG Yin-zhuang¹, GU Xiao-dong¹

(1. College of Food Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei, China; 2. Zhang Zhongjing School of Chinese Medicine, Nanyang Institute of Technology, Nanyang 473004, Henan, China)

Abstract: The fermented soybean products mainly include fermented bean curd, Douchi, soy sauce, soybean paste and so on. It is easy to produce potentially toxic metabolites in the fermentation process of soybean products under the action of microorganisms, among which the biogenic amines (BAs) are key risk factors affecting the quality and safety of fermented soybean products. Excessive consumption of food containing BAs may cause poisoning. However, there is no uniform limit standard of BAs for fermented soybean products in China. The producing mechanism, influencing factors, and control methods of BAs in fermented soybean products were reviewed in this paper. The purpose of this paper was to control the formation of BAs by optimizing the production technology of fermented soybean products, thereby improving the quality of fermented soybean products and promoting the healthy and stable development of fermented soybean products in China.

Key words: fermented soybean products; biogenic amines (BAs); detection; control; fermentation strains

引文格式:

刘旭, 王军, 课净璇, 等. 发酵豆制品中生物胺的产生及控制研究进展[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(5): 209-216.

LIU Xu, WANG Jun, KE Jingxuan, et al. Production and Control of Biogenic Amines in Fermented Soybean Products[J]. Food Research and Development, 2023, 44(5): 209-216.

发酵豆制品是以豆类为主要原料, 经过微生物发酵, 再经调配制成的具有特殊风味和形态的食品或调味品。中国的传统发酵豆制品包括酱油、豆豉、豆酱和腐乳 4 大类^[1]。豆制品作为一种重要的蛋白质来源, 受到中国、日本和韩国等亚洲国家人民的青睐。豆制品

在发酵过程中会发生一系列生物化学变化, 一些难降解的物质会转变为易于被人体吸收的营养成分^[2], 且发酵过程中还产生许多新的功能性物质, 如活性肽、不饱和脂肪酸、大豆异黄酮以及不同种类的维生素等^[3]。相关研究证明, 发酵豆制品有许多的健康益处, 包括抗

基金项目: 国家自然科学基金(31601462); 河南省高等学校重点科研项目(21A550010)

作者简介: 刘旭(1998—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品科学。

* 通信作者: 马艳莉(1982—), 女(回), 教授, 博士, 研究方向: 食品营养与安全。

癌、调节葡萄糖摄取、溶栓、促进消化和调节肠道菌群等功能。但有害菌可能在发酵过程中产生潜在的毒性代谢物,如生物胺(biogenic amines, BAs)等^[4]。

BAs是一种具有生物活性的低分子碱性含氮有机化合物,存在于含有高蛋白质或游离氨基酸且受微生物或生物化学活性影响的食物中^[5]。根据来源可分为内源性 BAs 和外源性 BAs^[6],内源性 BAs 一般存在于水果等食物中,作为机体调节剂在细胞合成和维持细胞膜稳定中发挥作用;外源性 BAs 主要存在于发酵食品中。根据结构特点可以将 BAs 分成 3 类^[7],分别为脂肪族(尸胺、腐胺、精胺、亚精胺)、芳香族(β -苯乙胺、色胺)和杂环族(组胺、酪胺),根据胺基的数量,可分为单胺(酪胺、苯乙胺)和二胺(组胺、腐胺、尸胺)。BAs 在细胞生长代谢中发挥着重要的生理作用^[8],少量摄入时能够提高新陈代谢水平,促进生长发育、抗氧化和延缓衰老等,但当摄入的 BAs 达到一定量时就会对身体造成伤害,例如过量酪胺会引起头痛和血压升高。组胺被认为是毒性最强的胺^[9],高浓度的组胺会导致恶心、偏头痛和心脏问题^[10]。

目前我国尚未建立有关发酵豆制品中 BAs 含量的限量标准,一些国家对水产品等食品中 BAs 的限量进行规定,但各国的限量标准也不统一。美国食品药

品监督管理局(Food and Drug Administration, FDA)规定,水产品中组胺浓度不得超过 50 mg/kg,酪胺含量不得超过 100 mg/kg,在其他食品中组胺最高限量为 50 mg/kg^[11]。欧洲食品安全机构(European Food Safety Authority, EFSA)规定食品中组胺限量为 100 mg/kg^[12]。我国国家标准只规定了鱼类中的组胺含量,高组胺鱼类如鲈鱼、金枪鱼和沙丁鱼中组胺限量为 400 mg/kg,而在其他海水鱼类中,组胺限量规定为 200 mg/kg^[13]。此外, BAs 在亚硝酸盐存在条件下还可能转化为潜在的致癌物 N-亚硝胺^[14]。发酵豆制品中的 BAs 问题较为严峻,因此要进一步改进发酵工艺控制 BAs 的产生,进一步提高发酵豆制品的食用安全性。

1 发酵豆制品中的 BAs

1.1 发酵豆制品中 BAs 含量

发酵豆制品在中国有悠久的历史,现阶段市场上常见的发酵豆制品主要包括腐乳、豆豉、豆酱、酱油、纳豆和韩国清谷酱等。大豆中含有丰富的蛋白质,在发酵过程中蛋白质在蛋白酶的作用下水解产生氨基酸、多肽等物质,氨基酸在氨基酸脱羧酶的作用下生成 BAs,含量超标可能会带来食品安全问题^[15]。不同的发酵豆制品中 BAs 含量不同,具体含量如表 1 所示。

表 1 不同发酵豆制品中 BAs 含量

Table 1 The contents of BAs in different fermented soybean products

种类	红方腐乳/(mg/kg)	青方腐乳/(mg/kg)	酱油/(mg/L)	豆豉/(mg/kg)	豆瓣酱/(mg/kg)	纳豆/(mg/kg)	韩国清谷酱/(mg/kg)
组胺	ND~210.53	52.72~616.28	0~592	ND	33.4~1 402.6	ND~34.40	ND~408.74
酪胺	ND~28.53	21.93~319.24	0~673	ND	37.2~1 893.0	ND~300.20	ND~451.66
腐胺	ND~42.09	10.73~220.42	ND	1.60~43.20	203.1~1 781.3	ND~43.10	0.12~476.30
尸胺	ND~49.52	11.05~104.06	0~550	23.00~228.10	87.4~978.9	ND~36.80	ND~268.16
β -苯乙胺	ND~45.04	2.80~51.85	ND	ND	44.9~534.7	ND~51.50	0.12~562.44
精胺	ND	ND~48.32	0~145	ND	49.1~164.5	18.80~80.10	ND~20.89
亚精胺	ND~57.86	ND~117.18	0~486	ND	53.4~179.4	246.50~478.10	ND~79.05
色胺	ND~36.99	13.05~139.02	ND	ND~28.60	ND~190.3	ND~45.80	2.64~231.98

注:ND 为未检出。

腐乳是以大豆为原料,经过研磨、制坯、前发酵、盐腌、后发酵等加工工艺制成的调味品^[16]。Liang 等^[17]研究了腐乳发酵过程中菌落演替和代谢产物的变化对 BAs 的影响,结果表明,发酵末期总 BAs 含量最高,且作为毒性最强的 BAs,组胺含量为 210.53 mg/kg,含量占总 BAs 的 40%以上。Li 等^[18]通过检测国内市场 6 类腐乳样品 BAs 含量发现,青方腐乳中组胺含量为 616.28 mg/kg,明显高于其他类型腐乳,食用后可能会对人体产生危害,因此不适宜每天过量食用腐乳。

酱油作为调味料在日常烹饪中发挥着重要作用,并且在韩国、日本和韩国广受欢迎。Lu 等^[19]检测了 40 种不同生产厂家的酱油,酪胺的检出率最高为 97.5%,其次为亚精胺(95%)、组胺(92.5%)、尸胺(82.5%)和精胺

(80.0%)。不同厂家酱油中 BAs 含量不同可能与生产工艺和发酵方式有关。

豆豉是将大豆蒸熟后接种毛霉、米曲霉或根霉等发酵剂,然后经过盐处理和后发酵过程制作而成。豆豉不仅蛋白质、脂肪和碳水化合物含量丰富,还含有多种生物活性物质(如豆豉纤溶酶和大豆异黄酮等)。Gong 等^[20]利用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)测定豆豉中 BAs,在豆豉中检测到 3 种 BAs,分别为色胺、腐胺和尸胺,其中含量最高的为尸胺。另外,淡豆豉作为我国一种传统药食两用的中药材,富含大豆异黄酮和 γ -氨基丁酸,具有解表、除烦、宣发郁热的功能^[21],但对其 BAs 含量的报道较少。

豆瓣酱的发酵过程一般分为豆瓣预处理、制曲和加盐发酵等多个阶段。朱天傲等^[22]测定 12 种市售豆酱中 BA 的含量,结果表明,豆酱中的精胺、 β -苯乙胺、酪胺平均含量最高,BA 总体差异较小。曾雪晴^[23]的研究发现,腐胺、尸胺、组胺及酪胺是豆酱中主要的 BA,占 BA 平均总量的 76.4%。

纳豆是经过枯草芽孢杆菌发酵的一种传统功能性食品,营养价值高,因其具有预防心血管疾病的功效在日本较受欢迎。Kim 等^[24]的研究发现,在 21 种纳豆产品中, β -苯乙胺和酪胺含量较高,其中有 9 种产品超过限量值,但总 BA 含量均没有超过有害水平(1 000 mg/kg)。纳豆中 BA 含量不仅受微生物的影响,还受原料的影响,但微生物的影响更大。

清谷酱是韩国传统的发酵豆制品,具有很高的营养价值。Jeon 等^[25]对韩国清谷酱 60 个样品中的 BA 进行分析,结果表明, β -苯乙胺和酪胺含量较高,因此在清谷酱发酵过程中要注意控制酪胺的形成。不同发酵豆制品由于其发酵环境、发酵菌株和制作工艺等因素不同,导致 BA 的含量差异较大。由于原料不同,商品运输和储存条件不同,导致检测的发酵豆制品中 BA 的含量情况不同^[26]。食用过量的发酵豆制品有可能会引起 BA 中毒,对身体造成伤害,因此在将发酵豆制品作为调味料时不宜过量使用。

1.2 BA 形成机理

BA 在生物体内主要是由氨基酸脱羧或酮和醛的胺基化和转氨作用形成^[27]。发酵豆制品中 BA 主要是组胺、色胺、 β -苯乙胺、酪胺、尸胺、腐胺、精胺和亚精胺,分别由脱羧酶特异性的作用于组氨酸、色氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、赖氨酸和鸟氨酸而形成^[28-29],具有产脱羧酶能力的微生物有芽孢杆菌、假单胞菌、大肠杆菌和沙门氏菌属的病原体^[30]。氨基酸脱羧有 2 种机制,一种是以 5-磷酸吡哆醛为辅酶^[31],另一种则是利用丙酮酰基团辅助氨基酸脱羧酶,将氨基酸中相应的羧基脱去形成对应的胺。影响食物中 BA 形成的 3 个因素:作为 BA 前体物质的游离氨基酸含量;产氨基酸脱羧酶的微生物的生长;产胺微生物的适宜生长条件。食品中已经存在的 BA 可以用单胺氧化酶(monoamine

oxidase,MAO)和二胺氧化酶(diamine oxidase,DAO)降解来减少 BA 对食品的危害^[32-33]。

1.3 BA 的检测方法

目前,BA 的检测方法主要有 HPLC 法、液相色谱质谱联用法、气相色谱法、毛细管电泳法、薄层色谱法和离子色谱法等。HPLC 法具有检测快速、灵敏度高的特点,是应用较广泛的定性、定量检测方法。李大伟等^[34]以丹磺酰氯作为衍生剂,利用 HPLC 法检测市售腐乳中的 BA 含量,结果表明,8 种主要的 BA 能较好分离,并且定量限在 0.60 $\mu\text{g/g}$ ~1.83 $\mu\text{g/g}$,灵敏度较高。Gil 等^[35]采用 HPLC 结合电位检测法检测酒精饮料中的 10 种 BA,测定准确度为 86.4%~109.9%,该方法可以在 25 min 内检测出 10 种 BA。Zhang 等^[36]利用液相色谱-质谱联用法建立了豆制品等食品中 6 种 BA 的快速检测方法,结果表明,6 种 BA 的定量限为 0.25 mg/kg~2.50 mg/kg,该方法无需进行衍生。Kamankesh 等^[37]利用电膜萃取和微萃取-气相色谱-质谱联用法测定鱼罐头中的 BA,发现腐胺、酪胺、组胺和尸胺的检出限分别为 0.03、0.11、0.06、0.29 ng/g,该方法排除了样品基体的干扰,提高了灵敏度,此方法可以准确、可靠的测定鱼罐头中 BA,也可用于测定其他食品样品中的 BA 含量。薄层色谱法操作简便,不需要昂贵的设备,可以对多个样品进行分析。Kounnoun 等^[38]使用丹磺酰氯作为衍生剂对鱼类产品中组胺进行薄层色谱分析,测得回收率为 93%~105%,检测限为 4.4 mg/kg,定量限为 10.5 mg/kg,与高效液相检测结果一致。

离子色谱法常用于阴、阳离子的分析,BA 是最弱离子,因此,可以用离子色谱法进行检测^[39]。Palermo 等^[40]利用离子色谱法和电导检测方法检测 BA,该方法分辨率和分离率较好,其检出限为 23 $\mu\text{g/kg}$ ~65 $\mu\text{g/kg}$,加标空白样品的定量限为 65 $\mu\text{g/kg}$ ~198 $\mu\text{g/kg}$,并通过对葡萄酒、奶酪和金枪鱼罐头等真实样品的分析,验证了该方法具有较高的可行性。毛细管电泳分析速度快、分辨率较高,但与 HPLC 相比,其浓度检测限较高。Mantoanelli 等^[41]利用丹磺酰氯对 BA 进行衍生,利用毛细管区带电泳对 BA 衍生物进行分离,测得 BA 的检出限为 7 $\mu\text{g/L}$ ~50 $\mu\text{g/L}$ 。BA 检测方法如表 2 所示。

表 2 BA 检测方法
Table 2 The analytical methods for the determination of BA

检测方法	BA	食品种类	优点	参考文献
高效液相色谱法	色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺、精胺	腐乳	灵敏度较高,分离效果良好、线性关系良好	[34]
高效液相色谱结合电位检测法	甲胺、乙胺、色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺、亚精胺、精胺	酒精饮料	灵敏度较高,选择性较高,较准确	[35]
高效液相色谱-质谱联用法	色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、酪胺	豆制品、发酵肉制品、酒、乳制品、海产品	无需衍生、操作简便、准确性高	[36]
气相色谱-质谱联用法	腐胺、酪胺、组胺、尸胺	鱼类罐头	灵敏度高、选择性好、回收率高、速度快	[37]

续表2 BAs检测方法

Continue table 2 The analytical methods for the determination of BAs

检测方法	BAs	食品种类	优点	参考文献
薄层色谱法	组胺	鱼及水产品	高效快速、适合多个样品同时分析	[38]
离子色谱法	尸胺、组胺、三甲胺、三乙胺、腐胺、胍丁胺、亚精胺、精胺	酒、奶酪、金枪鱼罐头、橄榄油	简单灵敏、选择性好、重复性好	[40]
毛细管电泳法	尸胺、组胺、腐胺、色胺、酪胺	奶酪、酸奶	水溶性、稳定性高、高选择性杂质少、制备步骤简单	[41]

2 影响 BAs 形成的因素

2.1 发酵菌种

豆制品在发酵过程中 BAs 的累积主要与微生物的生长有关,具有产脱羧酶能力的微生物可以促进 BAs 的积累^[42]。Gardini 等^[29]从腐乳中分离出 59 株产胺菌株,其中接种热带芽孢杆菌(*Bacillus tropicus*)主要产生组胺、色胺和尸胺,接种枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)进行发酵产生酪胺和色胺。Kung 等^[43]测定了 40 种市售味增样品中组胺含量并筛选了产组胺微生物。研究发现,所有 BAs 含量小于 21.6 mg/kg,并分离出一株巴氏杆菌(*Bacillus pasteurii*)、一株枯草芽孢杆菌(*Bacillus sp.*)、两株解淀粉芽孢杆菌(*Bacillus amyloliquefaciens*)、两株枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、两株大芽孢杆菌(*Bacillus megaterium*)为产胺菌株。Tsai 等^[44]测定了 26 种市售豆豉样品中的 BAs 并分析了产组胺菌株,结果表明,豆豉中大多数样品的组胺含量大于 50 mg/kg,超出 FDA 的标准限量值,枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、巴氏葡萄球菌(*Staphylococcus pasteurii*)为组胺产生菌。朱天傲^[45]测定了市售蚕豆酱中的 BAs,并从豆酱中分离出 64 株潜在 BAs 产生菌株,其中 6 株枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)能够生成组胺,最高含量达到 16.23 mg/L。因此接种具有较高产胺能力的菌株可能会产生较多的 BAs,为发酵豆制品中 BAs 的积累创造了条件。不同种类发酵豆制品中产胺微生物见表 3。

表3 不同种类发酵豆制品中产胺微生物

Table 3 The different types of amine-producing microorganisms in fermented soybean products

食品种类	产胺菌株	BAs	参考文献
腐乳	<i>Bacillus tropicus</i> <i>Bacillus subtilis</i>	组胺、色胺、尸胺 酪胺、色胺	[29]
味增	<i>Bacillus pasteurii</i> 、 <i>Bacillus sp.</i> 、 <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> 、 <i>Bacillus subtilis</i> 、 <i>Bacillus megaterium</i>	组胺	[43]
豆豉	<i>Bacillus subtilis</i> 、 <i>Staphylococcus pasteurii</i>	组胺	[44]
豆酱	<i>Bacillus subtilis</i>	组胺	[45]

2.2 pH 值

pH 值是影响发酵豆制品中 BAs 的重要因素,pH

值可以通过影响微生物的生长,抑制酶的活性来影响 BAs 的产生^[46]。在一定范围内,pH 值是影响微生物生长、降低氨基酸脱羧酶活性的重要因素,调节底物 pH 值是控制食品中 BAs 生物合成的重要途径。在发酵过程中蛋白质降解使 pH 值降低,碱性氨基酸为抵抗酸性环境,在微生物产生的脱羧酶作用下脱羧转化成 BAs^[47]。Yang 等^[48]研究了从酸鱼中筛选出 27 株高产胺菌株的基因多样性和 pH 值对菌株的影响,结果表明,在 pH 值为 6.0 时,腐胺产量最低,组胺产量最高,在 pH 值为 4.5 时,2 种单一底物的腐胺总量高于混合底物的腐胺总量。pH 值可以通过影响微生物的生长和氨基酸脱羧酶的活性来影响形成的 BAs 的类型和能力。因此,在酸性环境中会产生较少的 BAs。

2.3 温度

温度是影响 BAs 积累的关键因素,温度对腐乳中 BAs 含量有明显影响^[49]。温度主要是通过影响微生物生长代谢和酶的活性来影响 BAs 的积累。在低温下,发酵和贮藏降低了组胺、酪胺、腐胺、尸胺等的积累,这种减少可能是由于低温使脱羧酶活性降低,但它们的含量随着温度的升高而增加^[50]。Li 等^[51]的研究发现,在 4、25、37 ℃中储存腐乳,BAs 含量为 29.17 mg/kg~49.32 mg/kg、47.10 mg/kg~49.32 mg/kg、49.32 mg/kg~52.68 mg/kg,随着温度升高呈现上升的趋势,可能是由于高温将腐乳中的氨基酸分解成 BAs。Sun 等^[52]研究不同发酵剂对发酵羊肉香肠在 4 ℃和 20 ℃保存中的 BAs 含量影响,发现发酵香肠中主要 BAs 为酪胺,贮藏期间浓度为 8.02 mg/kg~229.88 mg/kg,酪胺含量在 4 ℃贮藏中呈下降趋势,保存温度为 20 ℃时随着贮藏时间的延长含量不断增加,20 ℃贮藏高于 4 ℃贮藏时 BAs 含量,当温度较高时,酪氨酸在发酵香肠中的积累较多。

2.4 混合调味料

在后发酵时加入的混合调味料也对发酵豆制品中 BAs 含量有一定影响。混合调味料可以通过抑制产胺微生物的生长和降低氨基酸脱羧酶的活性来减少 BAs 的积累。Lee 等^[53]研究在发酵豆酱的不同生产工艺和贮藏阶段添加儿茶素和葡萄柚籽提取物对 BAs 的影响,结果表明,在发酵前添加 3 g/kg 儿茶素,BAs 含量减少了 29%,并且在贮藏前添加 300 mg/kg 葡萄柚籽提

取物,豆酱在贮藏40 d后 BA_s 总量下降大约5%,可能是因为添加剂抑制了氨基酸脱羧酶的活性。Qiu等^[54]的研究发现,在腐乳后酵过程中添加乙醇的试验组 BA_s 含量极显著低于未添加乙醇的对照组,乙醇对蛋白质水解和微生物活性的抑制作用是减少 BA_s 产生的原因。Li等^[55]研究了在腐乳后发酵时加入含有不同调味料对 BA_s 的影响,结果表明,在后酵时加入2%的生姜粉对腐乳中组胺、酪胺和总 BA_s 具有较好的抑制效果。Mah等^[56]测定了生姜、大蒜等香料对韩国发酵鳀鱼中 BA_s 的影响,结果表明,大蒜提取物对 BA_s 产生的抑制作用较强,腐胺、尸胺、组胺、酪胺和亚精胺的含量分别降低了11.2%、18.4%、11.7%、30.9%和17.4%。Li等^[57]研究了不同盐浓度对酱油酿造过程中的 BA_s 含量的影响,结果表明,在添加16%、19%和22%NaCl的酱油中,随着NaCl浓度的增加,酱油中腐胺、组胺和尸胺的含量明显降低,表明NaCl会通过影响发酵时的高渗透压抑制产胺微生物的生长繁殖,破坏细菌细胞膜上的氨基酸脱羧酶。Chin等^[58]在味增发酵过程中添加了5%和10%盐,发现含有较低盐的味增中 BA_s 含量明显高于高盐味增。因此,加入不同的混合调味料可以影响产胺微生物的生长,从而减少 BA_s 的积累,在进行豆制品发酵时要选择合适的混合调味料。混合调味料添加对 BA_s 形成影响见表4。

表4 混合调味料添加对 BA_s 形成影响
Table 4 The effect of mixture on BA_s formation

种类	添加调味料	作用	效果	参考文献
豆酱	儿茶素	抑制氨基酸脱羧酶活性	BA _s 与对照样品相比减少了29%	[53]
	葡萄柚籽提取物		贮藏40 d后 BA _s 总量下降5%	
腐乳	乙醇	抑制微生物的生长	减少 BA _s 的生成	[54]
	姜粉	抑菌作用,抑制细菌增长	添加2%的生姜粉对组胺、酪胺和总 BA _s 的抑制效果最好	
发酵鳀鱼	生姜、大蒜、葱、红辣椒、丁香和肉桂	抑制微生物生长	大蒜提取物对 BA _s 产生的抑制作用较强。腐胺、尸胺、组胺、酪胺和亚精胺的含量降低	[56]
酱油	盐	抑制产胺微生物的生长繁殖,破坏氨基酸脱羧酶	随着NaCl浓度的增加腐胺、尸胺和组胺含量明显下降	[57]
味增	盐	抑制微生物生长	食盐浓度为3.5%~5.5%时对组胺的抑制效果最佳	[58]

3 BA_s 的控制

根据影响 BA_s 产生的因素可以从以下3个方面

来减少食品中的 BA_s 含量:1)控制产胺微生物,选择合适的发酵剂;2)控制氨基酸脱羧酶的活性,优化发酵条件和添加适当的食品添加剂;3)降解 BA_s,在发酵时接种降胺微生物。

3.1 选用不产胺的发酵菌株

选择不产氨基酸脱羧酶的发酵剂来进行发酵,可以从源头上控制 BA_s 的含量。Tan等^[59]研究了6种不同发酵剂快速发酵豆豉,结果表明,在最终的豆豉产品中只含有腐胺和亚精胺,且总 BA_s 含量为22.47 mg/kg~40.95 mg/kg,其中雅致放射毛霉产生 BA_s 较少。Lan等^[60]研究了单一菌株和复合菌株对纳豆中 BA_s 的影响,结果发现毛霉发酵降低了除组胺外的 BA_s 含量,3株菌株发酵的纳豆中腐胺和组胺含量有所增加,但其他 BA_s 含量降低,特别是亚精胺和精胺,因此纳豆中总 BA_s 含量降低。Yang等^[61]研究3种纯种发酵剂雅致放射毛霉(*Actinomucor elegans*)、五通桥毛霉(*Mucor wutunkiao*)和总状毛霉(*Mucor racemosus*)发酵腐乳中 BA_s 的变化,结果表明,不同的发酵菌株和发酵工艺对腐乳中 BA_s 含量有不同的影响,总状毛霉发酵腐乳产生的尸胺、亚精胺、精胺、组胺和酪胺水平显著低于其他毛霉菌株混合发酵产生的 BA_s。Fong等^[62]采用鼠李糖乳杆菌(*Lactobacillus rhamnosus* GG)、干酪乳杆菌(*Lactobacillus casei* Shirota)和大肠埃希菌(*Escherichia coli* Nissle 1917)对黑豆进行发酵,结果显示,在豆豉样品中均未检测到酪胺,发现发酵过程中使用的菌株是决定发酵食品中 BA_s 含量的关键因素,培养期间的温度和氧气的存在对 BA_s 的生成是至关重要的。Sun等^[63]研究发现用木糖乳杆菌(*Staphylococcus xylosus*)和植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)混合接种干香肠,尸胺、腐胺、色胺、β-苯乙胺、组胺和酪胺6种 BA_s 的积累减少,其中2种菌的混合发酵 BA_s 产生最少,且 BA_s 浓度与肠杆菌数具有良好的相关关系,部分 BA_s 与乳酸菌数呈负相关。因此,筛选出不产胺微生物,将发酵菌株进行优化后进行接种发酵,能够抑制 BA_s 的产生,可以从源头上对 BA_s 的含量进行控制。

3.2 抑制氨基酸脱羧酶活性

氨基酸脱羧酶是微生物产生 BA_s 的必要条件之一,影响氨基酸脱羧酶活性的因素包括pH值、温度、盐的浓度等。pH值是影响氨基酸脱羧酶活性的重要因素,pH值较低时,氨基酸脱羧酶的活性也会受到抑制,氨基酸脱羧酶的最适pH值为4.0~5.5^[38]。Kim等^[64]研究贮藏温度和时间对韩国米酒中 BA_s 的影响,结果表明,在4℃条件下贮藏30 d仅检测出少量腐胺,而20℃贮藏3、5、7 d均发现酪胺、组胺、苯乙胺、腐胺、尸胺的产生。Kim等^[65]研究发现微生物在高盐浓度下会产生较少的 BA_s,这是由于豆酱在高盐环境下具有更高的渗透

压,微生物的生长受到抑制。因此,可通过优化发酵条件,降低氨基酸脱羧酶活性,减少 BA 的产生。

3.3 接种降解 BA 发酵菌株

Zaman 等^[66]从鱼酱中分离出具有胺氧化酶活性的肉葡萄球菌 FS19(*Staphylococcus carnosus* FS19)和解淀粉芽孢杆菌 FS05(*Bacillus amyloliquefaciens* FS05),并将其分别作为发酵剂进行鱼酱的发酵,结果表明,产品中组胺浓度分别降低了 27.70%和 15.40%。Kim 等^[67]在进行韩国清谷酱发酵时选择了 4 株地衣芽孢杆菌(*Bacillus licheniformis*),结果表明,利用地衣芽孢杆菌发酵的试验组中 7 种 BA 的含量显著降低,并且产胺菌株蜡样芽孢杆菌的生长也受到抑制。程淑敏等^[68]将 2 株在培养基中具有较高 BA 降解能力的菌株 *Wickerhamomyces anomalus* 和 *Miller-ozyma farinosa* 作为发酵剂进行酱油发酵,结果表明,2 株菌对 BA 生成均具有一定的抑制效果,*Wickerhamomyces anomalus* 在组胺、酪胺和亚精胺的降解方面优于 *Miller-ozyma farinosa*。马宇霞等^[69]从 44 种熏马肠中分离筛选出 6 株具有 BA 氧化酶活性的菌株,分别为鼠李糖乳杆菌(*Lactobacillus rhamnosus*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)、腐生葡萄球菌(*Staphylococcus saprophyticus*)、木糖葡萄球菌(*Staphylococcus xylosus*)、戊糖片球菌(*Pediococcus pentosaceus*)、植物乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*),并将它作为发酵剂加入熏马肠中验证降胺能力,结果表明,这些菌株明显降低了组胺、酪胺、腐胺和尸胺的含量,可将 6 株菌株用于肉制品的发酵中。筛选具有降解 BA 作用的微生物,并将其应用于发酵体系,是控制食品中 BA 的合成和累积、减少食品中 BA 含量的有效方法,对提高发酵豆制品品质 and 安全性具有重要意义。不同微生物对 BA 降解作用见表 5。

表 5 不同微生物对 BA 降解作用

Table 5 The degradation of biogenic amines by different microorganisms

种类	降胺菌株	BA 降解	参考文献
鱼酱	<i>Staphylococcus carnosus</i> FS19, <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> FS05	组胺	[66]
韩国清谷酱	<i>Bacillus licheniformis</i>	色胺、β-苯乙胺、腐胺、尸胺、酪胺、亚精胺、精胺	[67]
酱油	<i>Wickerhamomyces anomalus</i> , <i>Miller-ozyma farinosa</i>	组胺、酪胺、亚精胺	[68]
熏马肠	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Staphylococcus saprophyticus</i> , <i>Pediococcus pentosaceus</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i>	组胺、酪胺、腐胺、尸胺	[69]

4 展望

发酵豆制品在我国有近两千年的历史,豆制品的发酵过程是在多种条件如发酵菌种、微生物菌群结构、发酵条件、原料和环境等共同作用下进行的,微生物代谢产生 BA,可能带来食品质量安全隐患。目前发酵豆制品中 BA 还没有限量标准,需要根据人均发酵豆制品日摄入量和各国常用的不同类型发酵食品中 BA 含量的信息,制定发酵豆制品中 BA 的限量标准。一些研究对 BA 的控制主要集中在改变发酵菌株,如使用一些不产胺或能降解 BA 的菌株和优化发酵条件等方面,对不同发酵豆制品中 BA 的形成原因、微生物菌群和 BA 含量之间关联机制、发酵过程中 BA 变化规律还需要进一步研究。在今后的研究中,需要考虑发酵时间、pH 值和温度等环境因素的影响,并将发酵豆制品的生产过程进行标准化,达到抑制发酵豆制品中 BA 产生的作用,提高发酵豆制品的食用安全性,推动发酵豆制品行业高质量健康发展。

参考文献:

- [1] LIU L B, CHEN X Q, HAO L L, et al. Traditional fermented soybean products: Processing, flavor formation, nutritional and biological activities[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(7): 1971-1989.
- [2] CAO Z H, GREEN-JOHNSON J M, BUCKLEY N D, et al. Bioactivity of soy-based fermented foods: A review[J]. Biotechnology Advances, 2019, 37(1): 223-238.
- [3] 贾璐, 郭霞, 何晨, 等. 传统发酵豆制品营养成分研究进展[J]. 中国酿造, 2019, 38(4): 1-6.
- [4] JIA Fan, GUO Xia, HE Chen, et al. Research progress in nutritional and functional ingredients of the traditional fermented soybean products[J]. China Brewing, 2019, 38(4): 1-6.
- [5] LIU B, CAO Z N, QIN L H, et al. Investigation of the synthesis of biogenic amines and quality during high-salt liquid-state soy sauce fermentation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2020, 133: 109835.
- [6] ÖNAL A, TEKKELE S E K, ÖNAL C. A review of the liquid chromatographic methods for the determination of biogenic amines in foods[J]. Food Chemistry, 2013, 138(1): 509-515.
- [7] 王新南. 发酵豆制品中生物胺含量研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(9): 188-190.
- [8] WANG Xinnan. Research progress of biogenic amines in fermented soybean products[J]. China Condiment, 2019, 44(9): 188-190.
- [9] DABADÉ D S, JACXSENS L, MICLOTTE L, et al. Survey of multiple biogenic amines and correlation to microbiological quality and free amino acids in foods[J]. Food Control, 2021, 120: 107497.
- [10] 曹忠娜. 不同工艺酱油发酵过程中生物胺的调控研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2019.
- [11] CAO Zhongna. Biogenic amines in different process of the soy sauce fermentation process control research[D]. Tianjin: Tianjin University of Science & Technology, 2019.
- [12] YILMAZ C, GÖKMEN V. Neuroactive compounds in foods: Occurrence, mechanism and potential health effects[J]. Food Research International, 2020, 128: 108744.
- [13] DALA-PAULA B M, DEUS V L, TAVANO O L, et al. In vitro bioaccessibility of amino acids and bioactive amines in 70% cocoa dark

- chocolate: What you eat and what you get[J]. Food Chemistry, 2021, 343: 128397.
- [11] Food and Drug Administration (FDA). Fish and fishery products hazards and controls: Chapter 7 scombrototoxin (histamine) formation[EB/OL]. [2021-11-30]. <https://www.fda.gov/food/seafood-guidance-documents-regulatory-information/fish-and-fishery-products-hazards-and-controls>.
- [12] EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). Scientific opinion on risk based control of biogenic amine formation in fermented foods[J]. EFSA Journal, 2011, 9(10): 2393.
- [13] 中华人民共和国卫生部, 中国国家标准化管理委员会. 鲜、冻动物性水产品卫生标准: GB 2733—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- Ministry of Health of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Hygienic standard for fresh and frozen marine products of animal origin: GB 2733—2005[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.
- [14] PARK Y K, LEE J H, MAH J H. Occurrence and reduction of biogenic amines in traditional Asian fermented soybean foods: A review[J]. Food Chemistry, 2019, 278: 1-9.
- [15] 李彬彬, 徐晔, 牛淑慧, 等. 食品中生物胺含量及生物胺氧化酶的研究进展[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 341-347.
- LI Binbin, XU Ye, NIU Shuhui, et al. Recent progress in biogenic amines and bioamine oxidases in foods[J]. Food Science, 2019, 40(1): 341-347.
- [16] 马艳莉, 刘亚琼, 夏亚男, 等. 不同类型腐乳理化性质及乙酰胆碱酯酶抑制活性研究[J]. 中国食品学报, 2017, 17(6): 60-66.
- MA Yanli, LIU Yaqiong, XIA Yanan, et al. Studies on the physico-chemical properties and acetylcholinesterase inhibition activity of different types of sufu[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(6): 60-66.
- [17] LIANG J J, LI D W, SHI R Q, et al. Effects of microbial community succession on volatile profiles and biogenic amine during sufu fermentation[J]. LWT—Food Science and Technology, 2019, 114: 108379.
- [18] LI D W, LIANG J J, SHI R Q, et al. Occurrence of biogenic amines in sufu obtained from Chinese market[J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 28(2): 319-327.
- [19] LU Y M, CHEN X H, JIANG M, et al. Biogenic amines in Chinese soy sauce[J]. Food Control, 2009, 20(6): 593-597.
- [20] GONG X, WANG X X, QI N L, et al. Determination of biogenic amines in traditional Chinese fermented foods by reversed-phase high-performance liquid chromatography (RP-HPLC)[J]. Food Additives & Contaminants Part A, Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment, 2014, 31(8): 1431-1437.
- [21] 李华, 冯凤琴, 沈立荣, 等. 淡豆豉优势菌株的鉴定及其对大豆蛋白质的分解作用[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(1): 1-6.
- LI Hua, FENG Fengqin, SHEN Lirong, et al. Identification of predominant strains from Dandouchi and their effects on decomposition of soybean protein[J]. Food and Fermentation Industries, 2011, 37(1): 1-6.
- [22] 朱天傲, 刘春风, 王金晶, 等. 国产酱类产品中的生物胺[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(10): 220-227.
- ZHU Tianao, LIU Chunfeng, WANG Jinjing, et al. Biogenic amines in commercial sauce products in China[J]. Food and Fermentation Industries, 2017, 43(10): 220-227.
- [23] 曾雪晴. 豆瓣酱发酵过程中生物胺及理化指标的变化研究[D]. 重庆: 西南大学, 2020.
- ZENG Xueqing. Changes of biogenic amines and physicochemical indexes of chili-horsebean paste during fermentation[D]. Chongqing: Southwest University, 2020.
- [24] KIM B, BYUN B Y, MAH J H. Biogenic amine formation and bacterial contribution in Natto products[J]. Food Chemistry, 2012, 135(3): 2005-2011.
- [25] JEON A R, LEE J H, MAH J H. Biogenic amine formation and bacterial contribution in Cheonggukjang, a Korean traditional fermented soybean food[J]. LWT—Food Science and Technology, 2018, 92: 282-289.
- [26] 解双瑜, 孙波, 刘丽, 等. 减盐对东北农家酱中生物胺形成的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(3): 92-97.
- XIE Shuangyu, SUN Bo, LIU Li, et al. Effect of salt reduction on biogenic amine formation in farmhouse fermented soybean paste in northeast China[J]. Food Science, 2021, 42(3): 92-97.
- [27] SHAO X F, XU B C, CHEN C G, et al. The function and mechanism of lactic acid bacteria in the reduction of toxic substances in food: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(21): 5950-5963.
- [28] ZHUANG S, LIU X C, LI Y, et al. Biochemical changes and amino acid deamination & decarboxylation activities of spoilage microbiota in chill-stored grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets[J]. Food Chemistry, 2021, 336: 127683.
- [29] GARDINI F, ÖZOGUL Y, SUZZI G, et al. Technological factors affecting biogenic amine content in foods: A review[J]. Frontiers in Microbiology, 2016, 7: 1218.
- [30] ÖZOGUL F, TOY N, ÖZOGUL Y, et al. Function of cell-free supernatants of *Leuconostoc*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* strains on histamine formation by foodborne pathogens in histidine decarboxylase broth[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2017, 41(5): e13208.
- [31] 何一龙, 刘晓艳, 钱敏, 等. 发酵酱油中生物胺的产生及其控制研究进展[J]. 中国酿造, 2020, 39(9): 37-41.
- HE Yilong, LIU Xiaoyan, QIAN Min, et al. Research progress on the production and control of biogenic amines in fermented soy sauce[J]. China Brewing, 2020, 39(9): 37-41.
- [32] LI B B, LU S L. The importance of amine-degrading enzymes on the biogenic amine degradation in fermented foods: A review[J]. Process Biochemistry, 2020, 99: 331-339.
- [33] 李雄波, 邓维琴, 万萍, 等. 豆瓣酱中生物胺研究进展[J]. 中国调味品, 2019, 44(3): 180-184.
- LI Xiongbo, DENG Weiqin, WAN Ping, et al. Research progress of biogenic amines in broad bean paste[J]. China Condiment, 2019, 44(3): 180-184.
- [34] 李大伟, 李丹丹, 梁静静, 等. 高效液相色谱法测定市售腐乳中生物胺的含量[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(16): 120-124, 129.
- LI Dawei, LI Dandan, LIANG Jingjing, et al. Determination of biogenic amines in commercially sufu by high performance liquid chromatography[J]. Food Research and Development, 2018, 39(16): 120-124, 129.
- [35] GIL R L, AMORIM C G, MONTENEGRO M C B S M, et al. HPLC-potentiometric method for determination of biogenic amines in alcoholic beverages: A reliable approach for food quality control[J]. Food Chemistry, 2022, 372: 131288.
- [36] ZHANG X, HUI Y H, JIANG M, et al. Determination of 6 biogenic amines in food using high-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry without derivatization[J]. Journal of Chromatography A, 2021, 1653: 462415.
- [37] KAMANKESH M, MOHAMMADI A, MOLLAHOSSEINI A, et al. Application of a novel electromembrane extraction and microextraction method followed by gas chromatography-mass spectrometry to determine biogenic amines in canned fish[J]. Analytical Methods, 2019, 11(14): 1898-1907.
- [38] KOUNNOUN A, LOUAJRI A, CACCIOLA F, et al. Development and validation of a TLC-densitometry method for histamine monitoring in fish and fishery products[J]. Molecules (Basel, Switzerland), 2020, 25(16): 3611.
- [39] 涂婷. 腐乳中生物胺调查及生产过程中变化研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.

- TU Ting. Research on biogenic amines in fermented tofu and their variation during production procedure[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [40] PALERMO C, MUSCARELLA M, NARDIELLO D, et al. A multi-residual method based on ion-exchange chromatography with conductivity detection for the determination of biogenic amines in food and beverages[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2013, 405(2/3): 1015–1023.
- [41] MANTOANELLI J O F, GONÇALVES L M, PEREIRA E A. Dansyl chloride as a derivatizing agent for the analysis of biogenic amines by CZE–UV[J]. Chromatographia, 2020, 83(6): 767–778.
- [42] WANG H, LUO Y K, HUANG H P, et al. Microbial succession of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) filets during storage at 4 °C and its contribution to biogenic amines' formation[J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 190: 66–71.
- [43] KUNG H F, TSAI Y H, WEI C I. Histamine and other biogenic amines and histamine-forming bacteria in miso products[J]. Food Chemistry, 2007, 101(1): 351–356.
- [44] TSAI Y H, KUNG H F, CHANG S C, et al. Histamine formation by histamine-forming bacteria in douchi, a Chinese traditional fermented soybean product[J]. Food Chemistry, 2007, 103(4): 1305–1311.
- [45] 朱天傲. 酱制品中生物胺及产胺芽孢杆菌的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017.
- ZHU Tianao. Biogenic amines and amines-forming *Bacillus* species in paste products[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2017.
- [46] 张黎明, 章伟, 赵云松, 等. 腌鱼中产生物胺菌株的筛选、鉴定及其特性研究[J]. 中国食品学报, 2021, 21(7): 291–299.
- ZHANG Liming, ZHANG Yi, ZHAO Yunsong, et al. Screening, identification and characteristics of biogenic amines producing strains in salted fish[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(7): 291–299.
- [47] FERRARIO C, BORGO F, DE LAS RIVAS B, et al. Sequencing, characterization, and gene expression analysis of the histidine decarboxylase gene cluster of *Morganella morganii*[J]. Current Microbiology, 2014, 68(3): 404–411.
- [48] YANG Q, MENG J, ZHANG W, et al. Effects of amino acid decarboxylase genes and pH on the amine formation of enteric bacteria from Chinese traditional fermented fish (Suan yu)[J]. Frontiers in Microbiology, 2020, 11: 1130.
- [49] LINARES D M, DEL RÍO B, LADERO V, et al. Factors influencing biogenic amines accumulation in dairy products[J]. Frontiers in Microbiology, 2012, 3: 180.
- [50] CALLES-ENRÍQUEZ M, ERIKSEN B H, ANDERSEN P S, et al. Sequencing and transcriptional analysis of the *Streptococcus thermophilus* histamine biosynthesis gene cluster: Factors that affect differential hdcA expression[J]. Applied and Environmental Microbiology, 2010, 76(18): 6231–6238.
- [51] LI X Y, MENG J H, ZENG Q Z, et al. Biogenic amines content changes during storage and establishment of shelf life prediction model of red bean curd[J]. Journal of Food Safety, 2021, 41(2): e12885.
- [52] SUN X Y, DU B, ZHAO L H, et al. The effect of different starter cultures on biogenic amines and quality of fermented mutton sausages stored at 4 and 20 °C temperatures[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 8(8): 4472–4483.
- [53] LEE J Y, KIM Y G, HER J Y, et al. Reduction of biogenic amine contents in fermented soybean paste using food additives[J]. LWT–Food Science and Technology, 2018, 98: 470–476.
- [54] QIU S, WANG Y, CHENG Y Q, et al. Reduction of biogenic amines in sufu by ethanol addition during ripening stage[J]. Food Chemistry, 2018, 239: 1244–1252.
- [55] LI D W, MA Y L, LIANG J J, et al. Effects of different production technologies (fermented strains and spices) on biogenic amines in sufu fermentation[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2020, 44(8): e14597.
- [56] MAH J H, KIM Y J, HWANG H J. Inhibitory effects of garlic and other spices on biogenic amine production in Myeolchi-jeot, Korean salted and fermented anchovy product[J]. Food Control, 2009, 20(5): 449–454.
- [57] LI J, JIANG K, HUANG H Z, et al. Process improvement to prevent the formation of biogenic amines during soy sauce brewing[J]. Food Chemistry, 2020, 331: 127347.
- [58] CHIN K H, KOEHLER P E. Effect of salt concentration and incubation temperature on formation of histamine, phenethylamine, tryptamine and tyramine during miso fermentation[J]. Journal of Food Protection, 1986, 49(6): 423–427.
- [59] TAN Y, ZHANG R F, CHEN G J, et al. Effect of different starter cultures on the control of biogenic amines and quality change of Douchi by rapid fermentation[J]. LWT–Food Science and Technology, 2019, 109: 395–405.
- [60] LAN G Q, LI C Q, HE L P, et al. Effects of different strains and fermentation method on nattokinase activity, biogenic amines, and sensory characteristics of natto[J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 57(12): 4414–4423.
- [61] YANG B, TAN Y, KAN J Q. Regulation of quality and biogenic amine production during sufu fermentation by pure *Mucor* strains[J]. LWT–Food Science and Technology, 2020, 117: 108637.
- [62] FONG F L Y, LAM K Y, SAN LAU C, et al. Reduction in biogenic amines in Douchi fermented by probiotic bacteria[J]. PLoS One, 2020, 15(3): e0230916.
- [63] SUN Q X, CHEN Q, LI F F, et al. Biogenic amine inhibition and quality protection of Harbin dry sausages by inoculation with *Staphylococcus xylosus* and *Lactobacillus plantarum*[J]. Food Control, 2016, 68: 358–366.
- [64] KIM J Y, KIM D, PARK P, et al. Effects of storage temperature and time on the biogenic amine content and microflora in Korean turbid rice wine, Makgeolli[J]. Food Chemistry, 2011, 128(1): 87–92.
- [65] KIM J H, KIM D H, AHN H J, et al. Reduction of the biogenic amine contents in low salt-fermented soybean paste by gamma irradiation[J]. Food Control, 2005, 16(1): 43–49.
- [66] ZAMAN M Z, ABU BAKAR F, JINAP S, et al. Novel starter cultures to inhibit biogenic amines accumulation during fish sauce fermentation[J]. International Journal of Food Microbiology, 2011, 145(1): 84–91.
- [67] KIM S Y, KIM H E, KIM Y S. The potentials of *Bacillus licheniformis* strains for inhibition of *B. cereus* growth and reduction of biogenic amines in cheonggukjang (Korean fermented unsalted soybean paste)[J]. Food Control, 2017, 79: 87–93.
- [68] 程淑敏, 蓝翔, 徐莹, 等. 生物胺降解菌在酱油中的应用[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(4): 129–134.
- CHENG Shumin, LAN Xiang, XU Ying, et al. Biogenic amine degrading bacteria within soy sauce fermentation[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(4): 129–134.
- [69] 马宇霞, 卢士玲, 李开雄, 等. 熏马肠中生物胺氧化酶菌株的筛选与鉴定[J]. 现代食品科技, 2014, 30(5): 49–55.
- MA Yuxia, LU Shiling, LI Kaixiong, et al. Screening and identification of amine oxidase productive strains from smoked horse intestine[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(5): 49–55.