

不同发酵豆制品中生物胺调查分析

李璇^{1,2}, 刘琪^{1,2}, 朱蔚珊^{1,2}, 陈静^{1,2}, 张佩娜^{1,2}, 蒋立文^{1,2*}

(1. 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 长沙 410128; 2. 湖南农业大学食品科学技术学院, 长沙 410128)

摘要: 目的 调查腐乳、豆酱和豆豉 3 类豆制品中生物胺含量, 初步了解发酵豆制品中生物胺存在情况。

方法 参照 GB 5009.208-2016《食品安全国家标准 食品中生物胺的测定》, 采用高效液相色谱法测定 6 种腐乳、3 种豆酱、6 种豆豉中的生物胺含量。**结果** 腐乳中的生物胺含量明显超出另两类, 其总生物胺平均含量达 472.35 mg/kg; 豆酱略高于豆豉, 分别为 196.77 mg/kg 和 171.46 mg/kg。腐乳、豆豉和豆酱样品中含量最高的生物胺均是酪胺, 腐乳样品中居其次的是腐胺, 豆豉和豆酱样品中是章鱼胺, 3 种品种样品亚精胺和精胺含量均较少。**结论** 从整体而言, 3 类发酵豆制品生物胺含量在安全范围内。

关键词: 发酵豆制品; 腐乳; 豆豉; 豆酱; 生物胺

Investigation and analysis of biogenic amines in different fermented bean products

LI Xuan^{1,2}, LIU Qi^{1,2}, ZHU Wei-Shan^{1,2}, CHEN Jing^{1,2}, ZHANG Pei-Na^{1,2}, JIANG Li-Wen^{1,2*}

(1. Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Changsha 410128, China;
2. College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

ABSTRACT: Objective To investigate the content of biogenic amines in 3 types of soybean products, such as sufu, soybean paste and fermented soybean paste, and to understand the existence of biogenic amines in fermented soybean products. **Methods** According to GB 5009.208-2016 *National Food Safety Standard-Determination of Biogenic Amine in Food*, the content of biogenic amines in 6 kinds of sufu, 3 kinds of soybean paste and 6 kinds of fermented soybean paste was determined by high performance liquid chromatography. **Results** The content of biogenic amines in sufu was obviously higher than that of the other two types, with the average content of total biogenic amines reaching 472.35 mg/kg. The biogenic amines in soybean paste with 196.77 mg/kg were slightly higher than those in fermented soybean paste with 171.46 mg/kg. The biogenic amines with the highest content in sufu, fermented soybean paste and soybean paste were tyramine, the second was putrescine in sufu, octopamine in fermented soybean paste and fermented soybean paste, and the spermidine and spermine contents in the samples of the three varieties were less. **Conclusion** On the whole, the biogenic amines in the three fermented bean products were within a safe range.

KEY WORDS: fermented bean products; sufu; fermented soybean paste; soybean paste; biogenic amine

基金项目: 2017 年国家级大学生创新创业训练计划项目(G(S)CX1716)

Fund: Supported by the 2017 National Innovation and Entrepreneurship Training Program for College Students (G(S)CX1716)

*通讯作者: 蒋立文, 博士, 教授, 主要研究方向为食品生物技术。E-mail: hndjlw@163.com

*Corresponding author: JIANG Li-Wen, Ph.D, Professor, College of Food Science and Technology, Hunan Provincial Key Laboratory of Food Science and Biotechnology, Hunan Agricultural University, Changsha, 410128, China. E-mail: hndjlw@163.com

1 引言

生物胺是一类具有生物活性的、含氨基的低分子质量有机物的总称, 包括脂肪族胺、芳香族胺以及杂环胺 3 类^[1]。适量生物胺对人体有一定好处, 如增强免疫力、促进生长、抗氧化等, 但过量生物胺会对人体产生毒性, 引起呕吐、头疼等不良生理反应^[2,3]。生物胺的存在主要是蛋白质丰富的原料如豆类、豆类制品经过微生物发酵后水解生产氨基酸, 在发酵微生物存在转氨酶的前提下会将氨基酸转化为生物胺, 因此这类产品生物胺的问题引起研究学者关注。

关于食品中生物胺的检测方法、存在情况、控制措施等方面的研究较多。如吴迪等^[4]优化了以丹磺酰氯作为衍生试剂来检测食品中生物胺的方法。赵庆志等^[5]采用高效液相色谱法测定贮藏在不同温度下的整鱼和去内脏的鱼中常见的 8 种生物胺以及总生物胺含量, 探究温度和预处理对鲈鱼中生物胺含量变化的影响。相兴伟等^[6]发现辐照对生物胺的生成有一定的抑制作用, 且随生物胺种类和辐照强度的变化作用程度大小不一。但由于生物胺种类较多、代谢途径复杂、存在相互转化等, 生物胺的限量标准很难确定。目前, 国家建立了生物胺的检测方法国家标准, 但主要是针对水产品中酪胺和组胺的含量^[7-9]。

发酵大豆制品以蛋白质丰富的大豆或豆粕作为主要原料发酵后获得, 其风味独特而且具有较高的营养价值, 因此在消费者饮食生活中离不开发酵豆制品。发酵豆制品主要原料大豆, 由于加工工艺差别和产品形态不同, 有豆豉、腐乳、豆酱等品种, 豆豉、豆酱、腐乳的生产都需要经过较长的发酵时间(至少一个月以上), 由于生产过程中复杂的微生物多样性与长时间发酵等因素使发酵豆制品的生物胺存在可能性增加, 因此对于豆制品中生物胺含量的调查具有十分重要的意义。

本研究对市场上常见的腐乳、豆酱和豆豉 3 类豆制品中的生物胺含量进行分析调查, 检测不同样品中生物胺存在情况, 以便进一步提高改善发酵豆制品的质量及安全性, 为该类产品中生物胺的存在及可能的安全限量标准制定提供参考。

2 材料与方法

2.1 样品信息

从超市采购了 6 种腐乳、6 种豆豉、3 种豆酱, 其中腐乳有白腐乳和红腐乳, 样 1(S1)、样 5(S5)、样 6(S6)为白腐乳, 样 3(S3)为红油腐乳, 样 4(S4)为茶油腐乳, 样 2(S2)为干腐乳; 样 7(S7), 样 8(S8), 样 9(S9)为豆酱, 半固态稠状; 豆豉分为干豆豉、水豆豉和油豆豉, 其中样 10(S10)、11(S11)、12(S12)、13(S13)均为干豆豉, 样 14(S14)为水豆豉, 样 15(S15)为油豆豉; 样品具体信息见表 1。

2.2 仪器与试剂

XW-80A 旋涡混合器(上海青浦沪西仪器厂); Agilent1260 高效液相色谱仪、ZORBAX SB-C₁₈ Agilent 色谱柱(美国 Agilent 公司)。

乙腈(色谱纯)、正丁醇(分析纯)、无水乙醚(分析纯)、三氯甲烷(分析纯)(国药集团化学试剂有限公司); 丙酮(色谱纯, 武汉市诺尔施公司); 正己烷(色谱纯, 天津市化学试剂研究所有限公司)。

2.3 测定方法

参照 GB 5009.208-2016《食品安全国家标准 食品中生物胺的测定》^[10]第一法液相色谱法进行。

2.4 数据处理

每个数据重复 3 次, 用 EXCEL 2010 对数据进行统计学处理, 结果采用 $\bar{X} \pm R$ 表示。

3 结果与分析

3.1 液相色谱分析

首先对各种生物胺标准品分别进行色谱分析, 确定其出峰时间, 然后制作混合标准品进行分析, 混标色谱图如图 1 所示。由图 1 可知, 各标准品生物胺出峰时间在 10~35 min 之间, 标号 1~10 分别为色胺、苯乙胺、腐胺、尸胺、组胺、章鱼胺、内标、酪胺、亚精胺和精胺。3 类实际样品的色谱图如图 2~4。

3.2 各生物胺的线性关系

表 2 为各标准品生物胺线性关系。由表 2 可知, 除章鱼胺外, 其余标准品相关系数均在 0.9990 左右, 说明该方法精密度较好。章鱼胺是国标改版后才加入的, 此前的国标并未包括章鱼胺的测定, 且仪器不同、标准品厂家不同, 数据测定会存在偏差, 因此章鱼胺相关系数不是很好, 只简单作为参考。

3.3 3 类发酵豆制品中生物胺含量结果

本次样品共 6 种腐乳、3 种豆酱、6 种豆豉, 检测出 10 种生物胺。如图 5, 其中腐乳生物胺含量明显超出另 2 类, 其总生物胺平均含量达 472.35 mg/kg; 豆酱略高于豆豉, 分别为 196.77 mg/kg 和 171.46 mg/kg。而腐乳中茶油腐乳的总生物胺含量为 841.74 mg/kg, 高于红油腐乳(61.71 mg/kg)和白腐乳(222.94 mg/kg)。茶油腐乳中的色胺和苯乙胺的含量也高于其余所有发酵豆制品。李怡然等^[11]发现腐乳中水溶性小肽含量高于豆豉, 这可能为腐乳中生物胺的形成提供了更多底物。同时, 腐乳中生物胺含量高的原因也可能与其原料有关。腐乳的原料是豆腐, 豆酱和豆豉的原料是大豆, 相比之下, 腐乳中微生物(毛霉为主)的酶系对大豆蛋白质水解程度更加彻底, 产品种类更加丰富, 游离氨基酸含量越高, 形成生物胺的几率也会越高, 加上腐乳后期没有杀菌工序, 大量细菌微生物协同作用进一步分解氨基酸生成生物胺。

表 1 样品信息
Table 1 Sample information

类别	编号	生产日期	保质期 (所有样品处理日期 均为 2018 年 10 月)	产地	产品标准号	配料
	S1	2018/06/12	12 个月	广西桂林	GB 2712	大豆, 水, 食用盐, 食用酒精, 辣椒, 谷氨酸钠, 三氯蔗糖
	S2	2018/08/23	18 个月	湖南常德	SB/T 10170	黄豆, 食盐, 味精, 香辛料, 辣椒, 芝麻
腐乳	S3	2018/06/26	14 个月	贵州贵阳	企业标准	大豆, 菜籽油, 水, 食用盐, 白酒, 味精, 辣椒, 香辛料
	S4	2018/07/26	14 个月	湖南岳阳	SB/T 10170	大豆, 食用植物油, 水, 食盐, 食用酒精, 食用香辛料, 辣椒, 花椒
	S5	2018/08/11	12 个月	湖南岳阳	GB 2712	大豆、饮用水、菜籽油、食用盐、白酒、芝麻油
	S6	2018/07/24	12 个月	江西吉安	SB/T 10170	水、大豆、食用盐、白酒、辣椒、食品添加剂: 脱氢乙酸钠
	S7	2018/07/14	12 个月	山东章丘	GB/T 24399	非转基因黄豆, 水, 食用盐, 小麦粉, 白砂糖, 谷氨酸钠, 黄原胶, 5'-肌苷酸二钠, 山梨酸钾, 三氯蔗糖
豆酱	S8	2018/06/25	24 个月	广东佛山	GB/T 24399	非转基因黄豆, 水, 食用盐, 小麦粉, 白砂糖, 谷氨酸钠, 黄原胶, 5'-呈味核苷酸二钠, 苯甲酸钠, 三氯蔗糖, 酿造食醋
	S9	2018/07/26	24 个月	广东江山	GB/T 24399	黄豆, 水, 食用盐, 小麦粉, 白砂糖, 谷氨酸钠, 黄原胶, 5'-肌苷酸二钠, 山梨酸钾, 三氯蔗糖, 乙酰化双淀粉己二酸酯, 焦糖色, 5'-鸟苷酸二钠, 乳酸
	S10	2018/08/25	18 个月	湖南株洲	GB 2712	小黑豆, 食用盐, 食用植物油
	S11	2018/01/12	18 个月	湖南涟源	GB 2712	优质大豆, 食用盐, 食用植物油
豆豉	S12	2018/08/09	18 个月	重庆永川	GB 2712	黄豆, 生活饮用水, 食用盐, 醪糟, 小曲固态法白酒,
	S13	2018/08/27	12 个月	广东阳江	企业标准	黑豆, 水, 食用盐
	S14	2018/08/15	12 个月	贵州贵阳	DB 52/54	豆豉(大豆, 水), 水, 辣椒, 生姜, 味精, 柠檬酸, 脱氢乙酸钠, 食用盐
	S15	2018/07/05	18 个月	湖南长沙	企业标准	菜籽油, 豆豉(大豆, 水, 食用盐), 红辣椒, 食用盐、白砂糖, 花椒, 食品添加剂(谷氨酸钠)

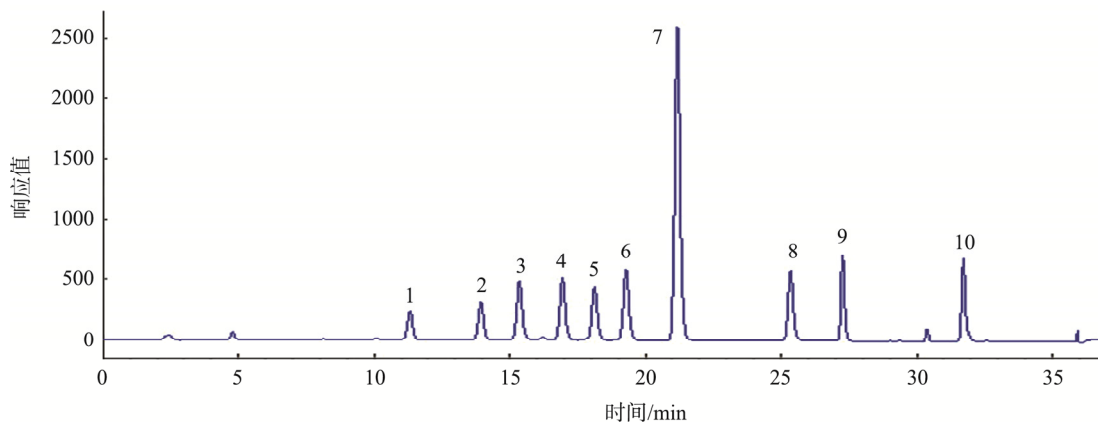


图 1 混合标准品色谱图
Fig.1 Chromatogram of mixed standard

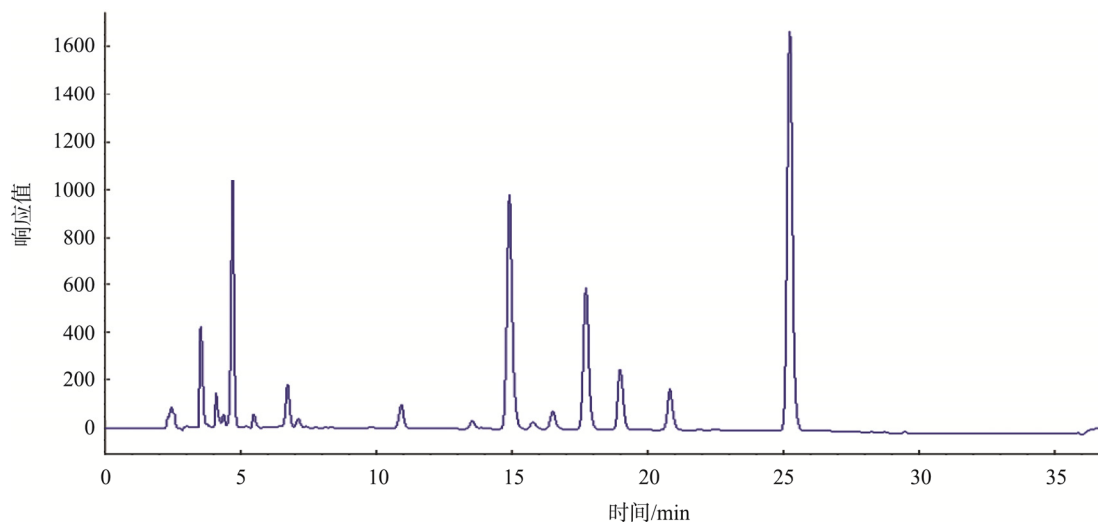


图 2 样 1 腐乳的色谱图

Fig.2 Chromatogram of sufu of sample 1

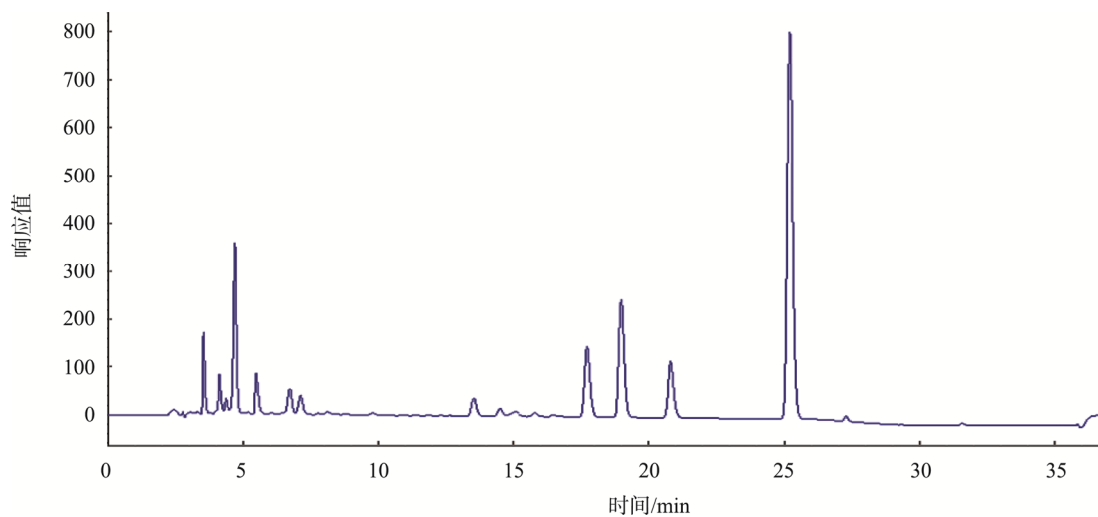


图 3 样 8 豆酱色谱图

Fig.3 Chromatogram of soybean paste of sample 8

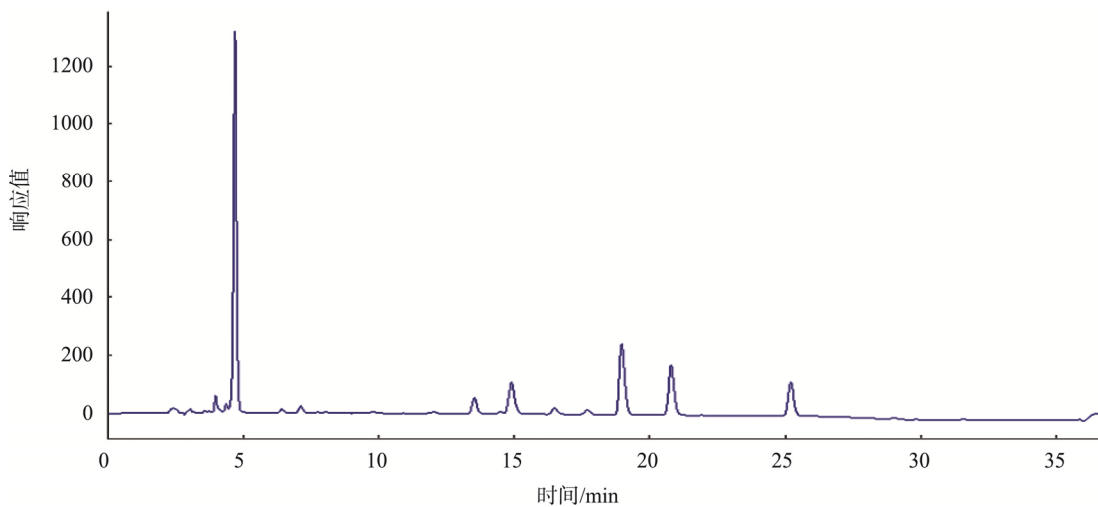


图 4 样 10 豆豉色谱图

Fig.4 Chromatogram of fermented soybean paste of sample 10

4 类腐乳、3 类豆豉和豆酱中含量最高的生物胺均是酪胺,其中干腐乳中的酪胺明显高于其余所有发酵豆制品。8 类样品中亚精胺和精胺含量均较少。腐乳、豆豉和豆酱中含量最高的生物胺均是酪胺,腐乳中居其次的是腐胺,豆豉和豆酱中则是章鱼胺,3 种品种样品亚精胺和精胺含量均较少,酪氨酸是发酵豆制品中存在较高的一种氨基酸,很容易生成酪氨酸结晶物(即白点),为酪胺的形成提供重要前体物质,腐胺是由鸟氨酸形成。生物胺的形成与微生物污染程度如芽孢杆菌、假单胞菌等存在有关^[12,13]。有研究表明,温度可以影响组胺的形成,在 14 °C 以上嗜温细菌可以分泌组氨酸脱羧酶^[14]。因此 3 类发酵豆制品中生物胺种类的差异可能与其微生物有关。

3.4 不同腐乳中生物胺含量结果分析

从表 3 可知,不同腐乳样品生物胺种类及含量存在较大差异,差异造成原因可能与其原料、生产工艺、发酵菌种及储存时间等^[15]有关。S3 为红油腐乳,从表易知 6 种腐乳中红油腐乳生物胺含量最低,仅为 61.74 mg/kg,试验所检

测的 10 种生物胺其只含有尸胺、章鱼胺和精胺,且尸胺和精胺含量少,对人体可能有害的酪胺和组胺均未检出,推测红油腐乳中可能有抑制生物胺合成的物质存在或红油腐乳加工环节能有效控制生物胺合成。另外干腐乳(S2)是类似传统陶瓷坛腐乳,没有加汤汁和油,水分含量相比其它几种腐乳略低,但酪胺检测结果相对较高,值得进一步探究。

3.5 豆酱中生物胺含量结果分析

从表 4 可知,3 个豆酱样品组胺、酪胺和章鱼胺较多,其中 S9 黄豆酱生物胺含量最少,主要是其酪胺含量相对其他 2 种样品较少。豆酱发酵一般采用黄豆和面粉为主要原料,米曲霉为主要发酵剂,并且豆酱一般采用保温发酵和自然晒制,可能与温度适合酪氨酸脱羧酶活性有关。另外结合原料配方,调制后豆酱产品加入一定比例配料,这说明豆酱发酵成熟后产品生物胺可能会更高。根据欧盟规定,食品中酪胺含量不得超过 100~800 mg/kg,3 种豆酱样品均有一定超出 100 mg/kg。我国对于豆酱中酪胺含量的限定还未有明文规定,其安全性有待探究。

表 2 标准品线性关系

Table 2 Linear relationship of standards

生物胺	线性范围/(mg/L)	回归方程	相关系数
色胺	1~50	$Y=0.0018X+0.0003$	$r^2=0.9999$
苯乙胺	1~50	$Y=0.0023X+0.00004$	$r^2=1$
腐胺	1~50	$Y=0.0038X+0.0046$	$r^2=0.9999$
尸胺	1~50	$Y=0.004X+0.0012$	$r^2=0.9999$
组胺	1~50	$Y=0.0034X+0.0016$	$r^2=0.9998$
章鱼胺	1~50	$Y=0.0025X+0.0945$	$r^2=0.8052$
酪胺	1~50	$Y=0.0043X+0.0054$	$r^2=0.9984$
亚精胺	1~50	$Y=0.0036X+0.0063$	$r^2=0.9967$
精胺	1~50	$Y=0.0039X+0.0022$	$r^2=0.9991$

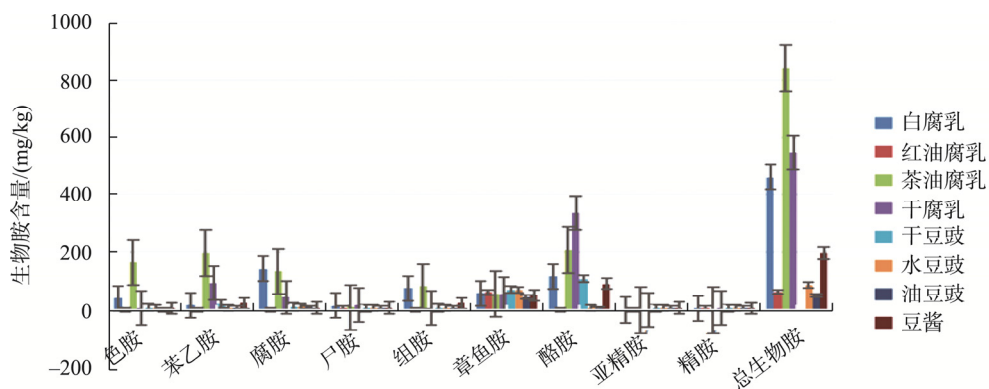


图 5 八类发酵豆制品生物胺含量(n=3)

Fig.5 Biogenic amine content of three types of fermented bean products (n=3)

3.6 豆豉中生物胺含量结果分析

豆豉中生物胺分析结果见表 5, 6 种豆豉中 S11 和 S13 这 2 种干豆豉总生物胺含量较高, 主要是 2 种豆豉酪胺含量较高, 其次 S11 的章鱼胺含量较高、S13 的组胺含量较高。韩忠安等^[16]发现纯种发酵总生物胺含量要高于自然发酵, 张仁凤等^[17]发现不同毛霉和米曲霉菌株所产生的生物

胺不尽相同, 生物胺种类和含量与菌株个体差异性有关, 推测该批豆豉样品中生物胺差异可能与其发酵条件及菌株有关。总体而言, 水分含量较高且经调味的豆豉(S14、S15)比干豆豉(S10、S11、S12、S13)生物胺含量要低, 可能豆豉发酵成熟后经后期加工会影响其生物胺含量, 但由于样本较少, 具体情况还需进一步探究。

表 3 腐乳样品中生物胺含量(mg/kg, n=3)
Table 3 Biogenic amine in sufu (mg/kg, n=3)

样品编号	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	章鱼胺	酪胺	亚精胺	精胺	总生物胺
S1	^c 23.84±0.42	^e 6.62±0.04	^c 123.89±0.47	^d 9.01±0.03	^b 81.56±0.33	^e 42.55±0.68	^c 182.11±0.45	0±0	^b 0.05±0.01	^d 469.63±1.53
S2	^e 0.42±0.03	^b 93.19±0.13	^e 43.22±0.1	^b 17.75±0.29	^d 0.33±0.16	^c 56.64±0.58	^a 335.33±0.17	0±0	^{ab} 0.06±0	^c 546.95±1.15
S3	^e 0±0	^f 0±0	^f 0±0	^f 1.08±0.12	^d 0±0	^b 60.57±0.54	^f 0±0	0±0	^{ab} 0.06±0.01	^f 61.71±0.65
S4	^a 164.65±0.23	^a 196.34±0.1	^b 133.57±0.31	^e 2.93±0.73	^b 81.06±0.36	^c 55.44±0.43	^b 207.73±0.64	0±0	^{bc} 0.03±0.01	^a 841.74±1.89
S5	^d 14.59±0.19	^d 13.35±0.05	^d 86.82±0.18	^c 11.19±0.27	^c 34.21±0.39	^d 54.31±0.49	^e 27.84±0.16	0±0	^d 0.01±0	^e 242.31±0.58
S6	^b 82.34±0.13	^c 27.98±0.01	^a 219.13±0.29	^a 21.94±0.33	^a 106.53±0.45	^a 73.71±0.36	^d 140.04±0.24	0±0	^a 0.09±0.02	^b 671.77±1.79

注: 不同字母代表有显著性差异($P<0.05$)。

表 4 豆酱样品中生物胺含量(mg/kg, n=3)
Table 4 Biogenic amine in soybean paste (mg/kg, n=3)

样品编号	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	章鱼胺	酪胺	亚精胺	精胺	总生物胺
S7	^a 0.28±0.05	^a 52.35±0.06	¹ a4.04±0.19	^a 2.07±0.23	^b 21.14±0.18	^c 42.4±0.32	^b 109.62±0.19	1.09±0.25	0.1±0.02	^a 243.09±1.03
S8	^{ab} 0.19±0.03	^b 10.32±0.05	^c 1.63±0.09	^b 1.03±0.05	^a 28.7±0.15	^a 61.13±0.41	^a 124.49±1.67	1.34±0.07	0.11±0.01	^b 228.95±1.56
S9	^b 0.14±0.02	^c 3.77±0.09	^b 5.69±0.19	^b 1.13±0.23	^c 19.2±0.13	^b 48.76±0.19	^c 38.68±0.16	0.8±0.14	0.1±0.02	^c 118.28±0.3

注: 不同字母代表有显著性差异($P<0.05$)。

表 5 豆豉样品中生物胺含量(mg/kg, n=3)
Table 5 Biogenic amine in fermented soybean paste (mg/kg, n=3)

样品名称	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	章鱼胺	酪胺	亚精胺	精胺	总生物胺
S10	^d 0.31±0.08	^c 10.59±0.1	14.2±0.16	^b 2.72±0.07	^b 2.45±0.12	^e 40.41±0.24	^c 11.97±0.12	^d 0±0	^e 0±0	^c 82.65±0.23
S11	^c 1.78±0.13	^a 34.68±0.1	10.47±0.17	^a 17.37±0.22	^c 1.44±0.04	^a 136.84±0.81	^b 179.89±0.16	^d 0±0	^c 0.2±0.02	^f 382.68±1.31
S12	^e 0.06±0.01	^d 1.97±0.07	8.11±0.14	^c 1.67±0.09	^e 0.44±0.02	^d 44.46±0.62	^e 0.49±0.03	^c 0.09±0.02	^{de} 0.03±0	^b 57.3±0.74
S13	^a 4.95±0.06	^b 33.57±0.03	7.18±0.17	^d 1.27±0.17	^a 21.27±0.19	^c 60.35±0.72	^a 240.11±0.12	^d 0±0	^b 0.44±0.01	^e 369.14±1.41
S14	^b 2.81±0.17	^e 1.72±0.06	4.22±0.07	^e 0.76±0.08	^d 0.69±0.09	^b 68.83±0.17	^d 7.25±0.04	^b 0.46±0.01	^d 0.06±0.01	^d 86.8±0.28
S15	^e 0±0	^f 0.45±0.02	3.28±0.09	^e 0.64±0.04	^e 0.22±0.04	^d 44.18±0.42	^f 0.05±0	^a 0.88±0.03	^a 0.49±0.04	^a 50.2±0.48

注: 不同字母代表有显著性差异($P<0.05$)。

4 结 论

从整体上看, 几类发酵豆制品均处于安全范围内, 但仍存在某些品牌发酵豆制品生物胺含量偏高, 甚至是超出欧盟所规定的生物胺含量不得超过 100~800 mg/kg。但由于我国并未制定相应标准, 并不能说明其有危害, 只能推

测存在一定风险。其次, 本次调查发现红油腐乳生物胺含量明显偏低, 尤其是酪胺、组胺并未检出, 该现象出现的原因值得探究。

尽管豆豉、腐乳、豆酱都是发酵豆制品, 但原料配比及发酵状态(大豆、豆腐、面粉)、发酵主要微生物、产品特性与生物胺形成有密切关系。豆酱中的优势真菌为青霉

菌属和毛霉菌属, 优势细菌为四联球菌属^[18,19], 不同发酵方式的酱醅优势细菌存在差异, 但同种发酵方式下的酱醅微生物联系紧密^[20]; 豆豉中的优势真菌是酵母菌属和霉菌属, 优势细菌以芽孢杆菌为主^[21]; 腐乳中的细菌包括四联球菌属、假单胞菌属、乳酸杆菌属等^[22-24], 其真菌主要是所接种的霉菌。发酵豆制品中生物胺主要由产氨基酸脱羧酶的微生物作用而生成^[25]。而从已有研究可知, 食品中与生物胺产生相关的主要微生物菌群有假单胞菌属、乳酸菌属和肠球菌等^[26,27]。以乳酸菌为例, 乳酸菌耐盐性较强, 且在 pH 较低时能产生更多的氨基酸脱羧酶来抵御外界环境的变化, 其特点与发酵食品的生产条件相一致。从生物胺的控制出发, 对发酵豆制品中微生物的研究十分必要。

参考文献

- 王光强, 俞剑桑, 胡健, 等. 食品中生物胺的研究进展[J]. 食品科学, 2016, 37(1): 269-278.
Wang GQ, Yu JS, Hu J, *et al.* Progress in research on biogenic amines in foods [J]. Food Sci, 2016, 37(1): 269-278.
- Broadley KJ. The vascular effects of trace amines and amphetamines [J]. Pharm Ther, 2010, 125(3): 363-375.
- 刘景, 任婧, 孙克杰. 食品中生物胺的安全性研究进展[J]. 食品科学, 2013, 34(5): 322-326.
Liu J, Ren J, Sun KJ. Research progress on safety of biogenic amines in food [J]. Food Sci, 2013, 34(5): 322-326.
- 吴迪, 黄海琴, 蔡成岗, 等. 生物胺丹磺酰氯衍生条件优化研究[J]. 食品与发酵科技, 2018, 54(1): 45-49.
Wu D, Huang HJ, Cai CG, *et al.* Study on optimization of conditions for derivatization of biogenic amine with dansulfonyl chloride [J]. Food Ferment Technol, 2018, 54(1): 45-49.
- 赵庆志, 邓建朝, 杨贤庆, 等. 不同贮藏温度下鲈鱼生物胺变化的研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(4): 260-267, 279.
Zhao QZ, Deng JC, Yang XQ, *et al.* Changes of biogenic amines in mackerel under different storage temperatures [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(4): 260-267, 279.
- 相兴伟, 邵宏宏, 郝云彬, 等. 辐照对贮藏过程中大管鞭虾生物胺形成的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(1): 176-183.
Xiang XW, Shao HH, Hao YB, *et al.* Effect of irradiation on biogenic amine formation in solenocera melantho during storage [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2018, 18(1): 176-183.
- GB 2733-2005 鲜、冻动物性水产品卫生标准[S].
GB 2733-2005 Hygienic standard for fresh and frozen animal aquatic products [S].
- US Food and Drug Administration. CPG Sec. 540. 525 Decomposition and histamine raw, frozen tuna and mahi-mahi, canned tuna; and related species, revised compliance policy guide, availability [Z].
- European Commission (EC). Commission recommendation of 10 January 2003 concerning a coordinated programme for the official control of foodstuffs for 2003 (2003/10/EC) [Z].
- GB 5009.208-2016 食品安全国家标准 食品中生物胺的测定[S].
GB 5009.208-2016 National food safety standard-Determination of biogenic amines in food [S].
- 李怡然, 赵丽芹, 贡婷婷, 等. 常见大豆制品中水溶性生物活性物质的分析[J]. 中国食品学报, 2016, 16(2): 258-265.
Li YR, Zhao LQ, Yun TT, *et al.* Analysis of water-soluble bioactive substances in common soybean products [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2016, 16(2): 258-265.
- Jin SM, Seung KC, Hwa YC, *et al.* Isolation and characterization of Biogenic Amine-producing Bacterium in fermented soybean-paste [J]. J Microbiol, 2010, 48(2): 257-261.
- Tsai YH, Kung HF, Lee YH, *et al.* Histamine contents and histamine-forming bacteria in sufu products in Taiwan [J]. Food Control, 2007, 18(5): 381-387.
- 胡鹏, 索化夷, 阚建全, 等. 中国传统发酵豆豉中生物胺含量[J]. 食品科学, 2013, 34(20): 108-112.
Hu P, Suo HY, Kan JQ, *et al.* Biogenic amine content of traditionally fermented Douchi [J]. Food Sci, 2013, 34(20): 108-112.
- 刘振锋, 魏云潇, 张进杰, 等. 高效液相色谱法检测中国传统发酵豆腐制品中的生物胺[J]. 中国食品学报, 2010, 10(4): 253-259.
Liu ZF, Wei YX, Zhang JJ, *et al.* Determination of biogenic amines in Chinese traditional fermented tofu products by high performance liquid chromatography [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2010, 10(4): 253-259.
- 韩忠安, 罗信旭, 杨春艳, 等. 豆豉中生物胺含量的动态变化研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(5): 60-64.
Han ZA, Luo XX, Yang CY, *et al.* Dynamic changes of biogenic amines content in Douchi [J]. Chin Brew, 2016, 35(5): 60-64.
- 张仁凤, 陈光静, 杨万明, 等. 豆豉发酵常用毛霉和米曲霉菌产生生物胺能力的评价[J]. 食品与发酵工业, 2017, 43(9): 15-21.
Zhang RF, Cheng GJ, Yang WM, *et al.* Evaluation of biogenic amines produced by *Mucor* and *Aspergillus oryzae* in Douchi fermentation process [J]. Food Ferment Ind, 2017, 43(9): 15-21.
- 姜静. 自然发酵豆酱微生物多样性及品质分析[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2018.
Jiang J. Analysis on microbial diversity and quality of naturally fermented soybean paste [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2018.
- 张鹏飞, 乌日娜, 张平, 等. 酱醅与豆酱微生物关系研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 101-106, 113.
Zhang PF, Wu RN, Zhang P, *et al.* Study on the microbial relationship between fermented grains and soy sauce [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(7): 101-106, 113.
- 姜静, 解梦汐, 安飞宇, 等. 应用 MiSeq 测序分析自然发酵豆酱酱块中微生物的多样性[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 92-97.
Jiang J, Xie MX, An FY, *et al.* Analysis of microbial diversity in naturally fermented soybean paste by MiSeq [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(16): 92-97.
- 樊敏, 杨萍, 胡萍, 等. 贵州豆豉中微生物多样性研究[J]. 中国酿造, 2019, 38(3): 81-88.
Fan M, Yang P, Hu P, *et al.* Microbial diversity in Douchiba from Guizhou [J]. Chin Brew, 2019, 38(3): 81-88.
- 陈颖慧. PCR-DGGE 分析不同品牌腐乳中细菌的多样性[J]. 中国调味品, 2017, 42(7): 29-32.
Chen YH. Analysis of bacterial diversity in sufu from different brands by PCR-DGGE [J]. Chin Cond, 2017, 42(7): 29-32.
- 刘亚栋. 利用 16S rDNA 测序的方法鉴定腐乳中微生物的种类多样性[D]. 济南: 山东师范大学, 2017.
Liu YD. Identification of microbial species diversity in sufu by 16S rDNA [D]. Jinan: Shandong Normal University, 2017.
- 张志超, 罗剑鸣, 殷光玲. 商业化腐乳中乳酸菌的分离与鉴定[J]. 食品安全导刊, 2018, (18): 154-156.
Zhang ZC, Luo JM, Yin GL. Isolation and identification of lactic acid bacteria from commercial sufu [J]. China Food Saf Magaz, 2018, (18): 154-156.
- 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研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(15): 262-268.

Jing ZB, Tian JJ, Yang MY, *et al.* Research progress on microbial flora related to biogenic amine formation in food and its control technology [J]. Food Sci, 2018, 39(15): 262–268.

- [26] 王永丽, 李锋, 陈肖, 等. 传统发酵肉制品中生物胺形成机理及检测控制技术[J]. 肉类研究, 2013, 27(6): 39–43.

Wang YL, Li F, Chen X, *et al.* Formation mechanism and detection and control technology of biogenic amines in traditional fermented meat products [J]. Meat Res, 2013, 27(6): 39–43.

- [27] 张吉明, 赵燕梅, 许庆方. 产生物胺乳酸菌研究概述[J]. 山西农业科学, 2014, 42(5): 521–525.

Zhang JM, Zhao YM, Xu QF. Review on the induction of producing amines of Lactic acid bacteria [J]. J Shanxi Agric Sci, 2014, 42(5): 521–525.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



李 璇, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 1195311730@qq.com



蒋立文, 博士, 教授, 主要研究方向为食品生物技术。

E-mail: hndjlw@163.com