

市售酱油产品生物胺含量的检测与食用安全性分析

曾新安, 韦桂凤, 李嘉洪, 曹诗林, 汪浪红*, 韩忠*

(华南理工大学食品科学与工程学院, 广东省食品智能制造重点实验室, 广东广州 510640)

摘要: 为了揭示酱油中生物胺存在种类和水平, 该研究采用丹磺酰氯柱前衍生结合高效液相色谱法对我国市售的9个品牌57种(生抽41种和老抽16种)酱油中的生物胺含量进行了分析。结果表明, 酱油中苯乙胺、腐胺、组胺、酪胺是我国市售酱油中的主要生物胺成分。生抽酱油中的总胺大部分在127.86~1 273.40 mg/L, 其中组胺和酪胺的含量范围分别在10.82~368.91 mg/L和0~582.77 mg/L之间。老抽酱油中总生物胺的含量分布范围为200.54~904.61 mg/L, 组胺与酪胺的含量范围分别为35.07~302.35 mg/L和38.75~479.61 mg/L。风险评估分析结果表明, 生抽和老抽酱油中组胺和酪胺的急性风险指数 H 分别为7.69%、1.99%和2.10%、0.55%, 均远低于100%, 且两者的慢性风险指数 E 值较小, 范围在0.15%~1.65%之间。另外, 生抽和老抽的食品安全指数(IFS)在0.001~0.016之间, 远低于1。该研究表明由食用酱油中引入的组胺和酪胺对人体健康无明显的负面危害, 我国市售酱油食用安全性相对较高。

关键词: 酱油; 生物胺; 柱前衍生; 风险评估

文章编号: 1673-9078(2024)08-327-338

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.8.0940

Determination of Biogenic Amine Content and Edible Safety Analysis of Soy Sauce Products

ZENG Xin'an, WEI Guifeng, LI Jiahong, CAO Shilin, WANG Langhong*, HAN Zhong*

(School of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangdong Provincial Key Laboratory of Intelligent Food Manufacturing, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to reveal the types and levels of biogenic amines in soy sauce, the content of biogenic amines in 57 varieties of soy sauce (41 light soy sauce and 16 dark soy sauce) from 9 different brands sold in China were analyzed by using dansyl chloride derivatization coupled with high-performance liquid chromatography. The results indicate that phenethylamine, putrescine, histamine, and tyramine are the major biogenic amine components in soy sauce. The total amine content in light soy sauce ranged from 127.86 to 1 273.40 mg/L, with the histamine and tyramine content ranging between 10.82 to 368.91 mg/L and 0 to 582.77 mg/L, respectively. For dark soy sauce, the total biogenic amine content ranged from 200.54 to 904.61 mg/L, with a histamine and tyramine content ranging between 35.07 to 302.35 mg/L and 38.75 to 479.61 mg/L, respectively. The risk assessment analysis results indicated acute risk indices (H) for histamine and tyramine in light and dark soy sauces of 7.69%, 1.99%, 2.10%, and 0.55%, respectively; all significantly below 100%. The chronic risk indices

引文格式:

曾新安, 韦桂凤, 李嘉洪, 等. 市售酱油产品生物胺含量的检测与食用安全性分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(8): 327-338.

ZENG Xin'an, WEI Guifeng, LI Jiahong, et al. Determination of biogenic amine content and edible safety analysis of soy sauce products [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(8): 327-338.

收稿日期: 2023-08-04

基金项目: 广东省科技创新战略专项资金项目(2022B1212010015)

作者简介: 曾新安(1972-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品安全与绿色加工技术, E-mail: xazeng@scut.edu.cn

通讯作者: 汪浪红(1989-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: wlhong@fosu.edu.cn; 共同通讯作者: 韩忠(1981-),

男, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品绿色加工技术及运用, E-mail: fezhonghan@scut.edu.cn

(E) for both types of soy sauce were relatively low, ranging from 0.15% to 1.65%. Furthermore, the food safety indices (IFS) for light and dark soy sauces were between 0.001 and 0.016, significantly lower than 1. These findings demonstrate that the introduction of histamine and tyramine into soy sauce poses minimal negative health risks, indicating a relatively high level of food safety in commercially available soy sauces in China.

Key words: soy sauce; biogenic amine; pre-column derivatization; safety assessment

酱油味道鲜美、营养丰富,已经成为中国、日本、韩国等亚洲国家常见的调味品之一,广泛应用于家庭烹饪、餐厅用餐、食品加工等领域^[1,2]。目前市场上销售流通的酱油其生产过程一般都要经过选料、蒸煮、曲霉菌制曲、下缸发酵、成熟出缸等阶段^[3]。在发酵初期,曲霉释放蛋白酶水解酱醪中的蛋白质而产生小分子肽和游离氨基酸,这些肽和氨基酸一起赋予酱油独特的鲜味^[4,5]。值得注意的是,曲霉、魏斯氏菌、酵母菌和乳酸菌等微生物在释放蛋白酶的同时也会代谢出其他酶,其中产生的氨基酸脱羧酶会将游离氨基酸脱去羧基形成生物胺^[6-8],进而影响酱油产品质量与食品安全。

生物胺(Biogenic Amines)是一类具有生物活性的含氮低分子有机碱,广泛存在于各类动植物和微生物体内,在促进机体生长代谢、调节神经活动、清除自由基等方面发挥着积极作用^[9]。组胺和酪胺是最常见且毒性最强的两种生物胺^[10,11]。研究表明组胺与酪胺的摄入过多具有导致呕吐、红疹、引发血糖或血压失调、腹部痉挛等负面作用^[12-15]。目前,美国规定水产品中组胺含量不得超过 50 mg/kg^[16];欧盟规定鱼类中的组胺含量不得超过 100 mg/kg,酪胺含量不得超过 100~800 mg/kg^[17];我国规定了低组胺鱼类中组胺最大残留量为 200 mg/kg,高组胺鱼类中组胺最大残留量为 400 mg/kg^[18]。然而,我国以及其他国家目前尚未就调味品(例如酱油)中的生物胺含量制定限量范围。此外,由于调味品的摄入量远低于例如鱼类等日常食物,不能直接将鱼类的标准用于对其进行评判。因此针对酱油中生物胺开展膳食安全性分析对充分评价此类调味品安全性具有非常重要的意义。

目前,常用的生物胺检测方法较多,包括离子色谱法、高效液相色谱法和高效液相色谱-串联质谱法等^[19,20]。本研究在 GB 5009.208-2016《食品中生物胺的测定》的基础上,对衍生条件进行优化,对市场上 57 种酱油进行全面的检测与食用安全性分析,为企业控制酱油生物胺含量提供一定的理论依据,同时为我国酱油的食用安全性评估提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 原料与试剂

从国内市场采购了酱油样品 57 种,其中生抽酱油 41 种和老抽酱油 16 种,样品相关信息见表 1 和表 2。采购后样品置于 4 °C 冷藏,并尽快进行分析。

组胺、酪胺、腐胺、尸胺、色胺和亚精胺盐酸盐标准品、1,7-二氨基庚烷内标标准品、乙腈(色谱级)和丹磺酰氯(纯度≥98%)购于上海麦克林生化科技有限公司;β-苯乙胺和精胺盐酸盐标准品购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司;盐酸、丙酮等试剂为分析纯。

1.2 仪器设备

Agilent 1260 型高效液相色谱仪配备 Agilent ZORBAX EclipseXDB-C18 (4.6 mm×250 mm, 5 μm) 色谱柱,安捷伦科技(德国)有限公司;LC-DCY-24SYD 氮吹仪,上海力辰邦西仪器科技有限公司;数显多功能混匀仪 VM-500Pro,群安科学仪器(浙江)有限公司。

1.3 方法

1.3.1 标准溶液的配制和标准曲线的建立

参考 GB 5009.208-2016 中的方法,用 0.1 mol/L HCl 溶液配制质量浓度为 1 000 mg/L 的生物胺标准储备溶液,并进一步稀释和充分混匀,配置成质量浓度为 1.0、2.5、5.0、10.0、15.0、25.0、50.0 mg/L 的生物胺标准系列溶液,用于标准曲线的建立。

1.3.2 生物胺衍生化

准确量取 1.0 mL 已稀释 50 倍的酱油样品,或生物胺系列标准品溶液于 15.0 mL 塑料离心管中,参考 GB 5009.208-2016 中的方法,依次加入一定量的内标溶液,饱和碳酸氢钠、氢氧化钠溶液、衍生试剂进行生物胺衍生化,所获得的有机相于 40 °C 水浴进行氮吹,所获得物加入 1.0 mL 乙腈振荡混匀,用 0.22 μm 滤膜针头过滤器过滤用于液相色谱检测分析。

表 1 生抽酱油样品信息

Table 1 Sample information of light soy sauces

产品代号	生产日期	主要配料	酿造工艺	氨基态氮含量/(g/100 mL)	质量等级
A-1	2022.11.07	水、非转基因黄豆、小麦、谷氨酸钠、食用盐	高盐稀态发酵	1.2	特级
A-2	2022.10.25	水、非转基因黄豆、小麦、食用盐、谷氨酸钠、白砂糖	高盐稀态发酵	≥1.0	特级
A-3	2023.02.15	水、非转基因黄豆、小麦、食用盐、酿造食醋、谷氨酸钠、白砂糖	高盐稀态发酵	≥1.0	特级
A-4	2023.01.07	水、非转基因有机黄豆、有机小麦、食用盐、有机白砂糖	高盐稀态发酵	≥1.0	特级
A-5	2023.02.22	水、非转基因黄豆、小麦、谷氨酸钠、白砂糖、食用盐	高盐稀态发酵	1.2	特级
A-6	2022.11.23	水、非转基因黑豆、食用盐、小麦、白砂糖	高盐稀态发酵	≥1.0	特级
B-1	2022.12.11	水、非转基因脱脂大豆、小麦、食用盐、谷氨酸钠、白砂糖	高盐稀态发酵	≥1.2	特级
B-2	2023.01.14	水、有机黄豆、有机小麦、食用盐	高盐稀态发酵	1.2	特级
B-3	2023.02.17	水、非转基因黄豆、小麦、食用盐	高盐稀态发酵	1.1	特级
B-4	2022.11.02	水、非转基因黄豆、小麦、食用盐	高盐稀态发酵	1.2	特级
C-1	2023.02.18	水、非转基因脱脂黄豆、食用盐、小麦、小麦粉、白砂糖、谷氨酸钠、果葡糖浆	高盐稀态发酵	1.0	特级
C-2	2023.01.04	水、非转基因脱脂黄豆、食用盐、小麦粉、谷氨酸钠、果葡糖浆	高盐稀态发酵	1.3	特级
C-3	2022.11.21	水、非转基因脱脂大豆、食用盐、小麦	高盐稀态发酵	0.9	特级
C-4	2023.02.07	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦粉、白砂糖、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	1.2	特级
C-5	2023.02.14	水、食用盐、非转基因黄豆、非转基因脱脂黄豆、小麦粉、小麦、谷氨酸钠、果葡糖浆	高盐稀态发酵	1.2	特级
C-6	2022.11.30	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦粉、白砂糖	高盐稀态发酵	0.9	特级
C-7	2023.03.09	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦粉、谷氨酸钠、白砂糖	高盐稀态发酵	0.8	特级
D-1	2023.02.18	水、非转基因脱脂大豆、小麦、食用盐、白砂糖	高盐稀态发酵	0.8	特级
D-2	2022.12.15	水、非转基因黄豆、小麦粉、食用盐、谷氨酸钠、果葡糖浆	高盐稀态发酵	1.2	特级
D-3	2022.09.21	水、非转基因黑豆、小麦、食用盐、白砂糖	高盐稀态发酵	0.9	特级
E-1	2023.01.10	水、非转基因脱脂黄豆、食用盐、小麦、白砂糖、果葡糖浆、食用酒精、香辛料、陈皮	高盐稀态发酵	0.85	特级
E-2	2022.11.19	水、非转基因脱脂黄豆、食用盐、小麦、白砂糖	高盐稀态发酵	0.6	特级
E-3	2022.12.13	水、非转基因脱脂黄豆、食用盐、小麦、食用酒精	高盐稀态发酵	1.2	特级
F-1	2022.12.10	水、非转基因黑豆、小麦、食用盐、白砂糖	高盐稀态发酵	1.2	特级
F-2	2023.01.15	水、非转基因脱脂大豆、小麦、食用盐、白砂糖	高盐稀态发酵	≥1.2	特级
F-3	2022.12.15	水、非转基因黑豆、小麦、食用盐、白砂糖	高盐稀态发酵	1.2	特级
G-1	2023.02.08	水、脱脂大豆、麦麸、小麦、食用盐、食用酒精	高盐稀态发酵	0.9	特级
H-1	2023.01.11	水、非转基因大豆、食用盐、小麦粉、谷氨酸钠、果葡糖浆	高盐稀态发酵	1.25	特级
H-2	2022.12.15	水、非转基因大豆、食用盐、小麦粉、白砂糖	高盐稀态发酵	≥1.0	特级
A-7	2023.01.12	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦、白砂糖、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	≥0.8	一级
A-8	2022.10.25	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦、白砂糖、谷氨酸钠、大米	高盐稀态发酵	1.0	一级

续表 1

产品代号	生产日期	主要配料	酿造工艺	氨基态氮含量/(g/100 mL)	质量等级
B-5	2023.01.09	水、非转基因脱脂大豆、小麦、食用盐、白砂糖	高盐稀态发酵	0.8	一级
A-9	2022.12.18	水、非转基因黄豆、白砂糖、食用盐、小麦、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	0.7	二级
B-8	2023.01.07	水、非转基因脱脂大豆、小麦、食用盐、白砂糖、果葡糖浆	高盐稀态发酵	0.55	二级
C-8	2023.01.19	水、非转基因黄豆、白砂糖、食用盐、小麦粉	高盐稀态发酵	0.55	二级
D-4	2022.12.11	水、非转基因脱脂大豆、小麦、食用盐、白砂糖、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	0.55	二级
A-10	2022.12.13	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦、谷氨酸钠、小麦粉	高盐稀态发酵	≥0.5	三级
C-9	2022.12.07	水、食用盐、非转基因脱脂黄豆、非转基因黄豆、小麦、小麦粉、谷氨酸钠、果葡糖浆	高盐稀态发酵	≥0.4	三级
D-5	2023.03.06	水、非转基因黄豆、小麦粉、食用盐、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	0.5	三级
E-4	2022.12.29	水、食用盐、非转基因脱脂黄豆、谷氨酸钠小麦	高盐稀态发酵	0.4	三级
F-4	2023.02.19	水、大豆、小麦、食用盐	高盐稀态发酵	0.4	三级

表 2 老抽酱油样品信息

Table 2 Sample information of dark soy sauces

产品代号	生产日期	主要配料	酿造工艺	氨基态氮含量/(g/100 mL)	质量等级
A-11	2022.12.21	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦、谷氨酸钠、草菇	高盐稀态发酵	≥0.8	特级
D-6	2023.02.12	水、非转基因黄豆、小麦粉、食用盐、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	0.8	特级
E-5	2023.01.04	水、非转基因黑豆、小麦、食用盐、麦芽糖浆、冰糖、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	1.0	特级
E-6	2023.01.05	水、非转基因脱脂黄豆、食用盐、小麦、谷氨酸钠、草菇	高盐稀态发酵	0.8	特级
F-5	2023.01.05	酿造酱油(水、非转基因脱脂黄豆、食用盐、小麦)、水、谷氨酸钠、食用盐、食用酒精、草菇	高盐稀态发酵	0.8	特级
F-6	2023.01.15	水、非转基因脱脂大豆、小麦、食用盐(未加碘)、白砂糖、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	0.9	特级
A-12	2022.12.04	水、非转基因黄豆、白砂糖、食用盐、小麦、草菇	高盐稀态发酵	≥0.7	一级
A-13	2023.02.11	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦、白砂糖、谷氨酸钠、草菇	高盐稀态发酵	≥0.7	一级
A-14	2023.02.05	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦、白砂糖、谷氨酸钠、草菇	高盐稀态发酵	≥0.7	一级
C-10	2023.02.18	水、食用盐、非转基因脱脂黄豆、非转基因黄豆、小麦、小麦粉、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	0.7	一级
D-7	2023.01.11	水、非转基因黄豆、小麦粉、食用盐、谷氨酸钠、草菇	高盐稀态发酵	0.55	二级
H-1	2023.05.05	饮用水、食用盐、食用大豆粕、炒小麦、味精	高盐稀态发酵	≥0.55	二级
I-1	2023.04.07	水、非转基因脱脂大豆、小麦、食用盐、白砂糖、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	≥0.55	二级
A-14	2023.01.06	水、食用盐、非转基因大豆、小麦粉、谷氨酸钠、草菇、	高盐稀态发酵	0.4	三级
A-15	2023.02.08	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦、小麦粉、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	≥0.4	三级
H-3	2023.02.22	水、非转基因黄豆、食用盐、小麦、小麦粉、谷氨酸钠	高盐稀态发酵	0.4	三级

1.3.3 色谱条件及检测方法

紫外检测波长 254 nm, 柱温为 35 ℃, 进样量 20 μL, 流量为 1.0 mL/min, 梯度洗脱程序见表 3。

表 3 基于国标法修正的梯度洗脱程序

Table 3 The gradient elution program for dansyl chloride derivatization

时间/min	超纯水/%	乙腈/%
0	65	35
10	8	92
15	25	75
20	40	60
25	65	35

1.4 酱油生物胺风险评估

1.4.1 急性膳食摄入风险评估

急性膳食摄入评估是指根据一天食物消费中摄入的食物和水中的某物质残留量, 对一般人群的摄入情况进行的风险评估。采用公式 (2) 计算生物胺的急性膳食摄入风险指数 H , H 越小风险越小, 当 $H \leq 100\%$ 时, 表示风险可以接受; $H > 100\%$, 表示有不可接受的风险^[21]。

$$H = \frac{B \times C_{\max}}{A_{\text{RD}}} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

H —急性膳食摄入风险指数, %;

B —中国居民酱油消费大份餐 (kg), 以 50 mL 计;

C_{\max} —定量检测所得的生物胺最高残留量 (mg/L);

A_{RD} —生物胺急性参考剂量 (mg/d), 参考欧盟食品安全局评估数据^[22], 组胺与酪胺分别取 180 mg/d 和 1 100 mg/d (以 60 kg 计)。

1.4.2 慢性膳食摄入风险评估

使用公式 (2) 计算酱油中组胺与酪胺的慢性膳食摄入风险指数 (E)。较小的 E 值表示较低的风险; 当 $E \leq 100\%$ 时, 风险水平被视为可以接受; 而 $E > 100\%$, 则表示存在不可接受的风险。

$$E = \frac{G \times F}{D} \times 100\% \quad (2)$$

式中:

E —慢性膳食摄入风险指数, %;

G —平均残留值 (MRV), mg/L;

D —每日允许摄入量 (ADI), mg/d;

F —居民酱油日均消费量, 以 20 mL/d 计 (调味品行业深度报告 2019 年深度报告, 中国大陆的人均酱油消费量

是 7.14 L/年, 人均每天消费量约为 20.0 mL/d; 考虑到生抽和老抽分别作为调味和上色使用, 本研究中生抽以 15.0 mL, 老抽以 5.0 mL 计)。

参考欧盟安全管理局推荐摄入量, 组胺建议每餐低于 50 mg, 酪胺每餐低于 600 mg; 毒理学实验表明: 一次性摄入 150 mg 组胺有轻微的头疼和脸红症状, 且十二指肠注射 120 mg 组胺健康人群无任何症状; 一次性摄入酪胺 600 mg 无任何症状, 因此本研究中组胺的 ADI 值采用 120 mg/d, 酪胺的 ADI 值采用 600 mg/d (以 60 kg 计)。

1.4.3 食品安全指数法

食品安全指数法 (Index of Food Safety, IFS), 是将食品危害物残留监控与膳食暴露评估相结合, 以综合表征食品的安全状况的一种方法。由于危害物毒害作用与其进入人体的绝对量有关, 因此利用污染物的实际摄入量与安全摄入量作比较能够科学合理地评价某种食品的安全性, 食品安全指数 IFS 计算公式如下^[23]:

$$J = \frac{R_i \times F_i \times P_i \times f}{Q} \quad (3)$$

式中:

J —食品安全指数 (IFS);

R_i —酱油中生物胺的残留平均值, mg/kg;

F_i —居民酱油日均消费量, 其中生抽以 15.0 mL, 老抽以 5.0 mL 计;

P_i —酱油食用过程的处理因子, 本次评估中 P_i 设为 1;

f —生物胺安全摄入量的校正因子, 取其最高值, 为 1;

Q —生物胺的安全摄入量 (SI), 组胺的 ADI 值采用 120 mg/d, 酪胺的 ADI 值采用 600 mg/d (以 60 kg 计)。

当 IFS 远 < 1 时, 表示该生物胺对人体的健康不会造成危害; 当 IFS ≤ 1 时, 表示该生物胺对人体的健康风险是可以接受的, 危害不明显; 当 IFS > 1 时, 表示该生物胺对人体的健康造成了危害, 强烈建议政府部门将其纳入风险管理程序并加以管制。

1.5 数据统计与分析

所有产品平行取样并测定 3 次, 实验数据采用平均值 ± 标准差的形式表示。

2 结果与分析

2.1 生物胺色图谱及方法验证

生物胺标准溶液图谱如图 1a 显示, 8 种生物胺在 20 min 内得到了有效分离, 且出峰时间明确。

图 1b 为某款酱油样品中生物胺的检测分离情况。由图 1 可知, 样品中生物胺出峰不受杂质干扰、峰形对称、清晰度良好且无拖尾现象。

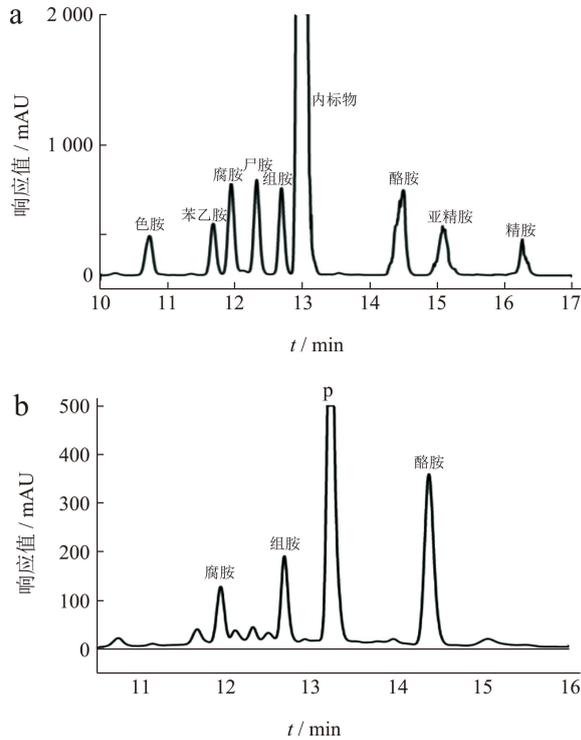


图 1 25 mg/L 生物胺标准溶液 (a) 与某品牌酱油生物胺检测色谱图 (b)

Fig.1 Chromatogram of bioamine detection in 25 mg/L bioamine standard solution (a) and soy sauce (b)

将 0.5、1.0、2.5、5.0、10、15、25、50 mg/L 系列标准溶液衍生后经 HPLC 检测得到 8 种生物胺的线性回归方程, 如表 4 所示。

2.2 生抽酱油类产品生物胺组成与含量

生抽酱油品牌数 8 种, 覆盖市场上主要品类, 样品总数为 41 个。由表 5 可知, 所有酱油中, 色胺被检出的样品数为 8, 检出率 19.5%; 苯乙胺检

出数 31, 检出率为 75.6%; 尸胺检出数为 26, 检出率为 63.4%; 腐胺和组胺检出数 41, 检出率 100%; 酪胺检出数 40, 检出率 97.5%; 亚精胺检出数 31, 检出率 75.6%; 精胺检出数为 2, 检出率 4.1%, 表明苯乙胺、尸胺、腐胺、组胺、酪胺和亚精胺是生抽酱油中的主要生物胺。另外, 41 个生抽总生物胺的含量分布范围为 127.86~1 273.40 mg/L, 其中高于 1 000 mg/L 的样品数 6 个, 占比 14.6%, 介于 500~1 000 mg/L 的样品有 12 个, 占比 29.3%, 小于 500 mg/L 的样品有 23 个, 占比 56.1%。检测出的总生物胺的含量与 Lu 等^[24]报道的结果类似, 其表明我国市场上的酱油总胺范围为 41.7~1 357 mg/L 之间。有学者表示, 食物中总胺含量应控制在 0~1 000 mg/L 之间^[25]。根据检测结果显示, 本研究检测结果表明有少量市售酱油样品中总胺含量超过 1 000 mg/L。考虑到人们主要将酱油作为调味和上色使用, 平均每日摄入量很低 (人均约为 20.0 mL/d, 生抽 < 15.0 mL, 老抽 < 5.0 mL)^[26], 不同于常规食品或饮料, 需结合其摄入量来评估生物胺的食用风险。

2.3 老抽酱油生物胺组成与含量

老抽酱油品牌数 7 种, 样品总数为 16 种。由表 6 可知, 所有酱油中, 色胺被检出的样品数为 2, 检出率 12.5%; 苯乙胺检出数 12, 检出率为 75.0%; 腐胺检出数为 15, 检出率 93.8%; 尸胺检出数为 6, 检出率为 37.5%; 组胺和酪胺检出数均为 16, 检出率 100%; 亚精胺与精胺检出率较低。另外, 16 种老抽酱油总生物胺的含量分布范围为 200.54~904.61 mg/L, 均小于 1 000 mg/L。在所有样品中, 组胺与酪胺的含量范围分别为 44.35~302.35 mg/L 和 41.89~479.61 mg/L, 小于 500 mg/L。该结果与 Li 等^[27]报道类似, 表明我国市面上老抽酱油中组胺和酪胺含量处于中等水平。

表 4 液相检测条件下生物胺的线性方程

Table 4 Linear equation of biogenic amines under HPLC detection

生物胺	回归方程	相关系数 R^2	线性范围/(mg/L)	检测限/(mg/L)	定量限/(mg/L)
色胺	$y=94.497x-18.088$	$R^2=0.999\ 1$	1~50	0.77	2.56
β -苯乙胺	$y=97.693x-31.363$	$R^2=0.999\ 3$	1~50	0.96	3.19
腐胺	$y=170.09x+59.891$	$R^2=0.999\ 0$	1~50	0.97	3.24
尸胺	$y=167.91x+9.469\ 6$	$R^2=0.999\ 4$	1~50	1.14	3.81
组胺	$y=150.61x-20.194$	$R^2=0.999\ 3$	1~50	1.11	3.70
酪胺	$y=202.33x+53.015$	$R^2=0.999\ 4$	1~50	0.65	2.17
亚精胺	$y=152.81x+2.178\ 6$	$R^2=0.998\ 6$	1~50	0.35	1.16
精胺	$y=64.061x-257.73$	$R^2=0.997\ 7$	1~50	0.52	1.72

表 5 不同生抽中生物胺的含量

Table 5 Contents of biogenic amines in light soy sauces

产品 代号	生抽的生物胺含量/(mg/L)										总生物胺
	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	酪胺	亚精胺	精胺			
A-1	23.43 ± 1.41 ^b	/	8.41 ± 0.53 ^q	/	119.30 ± 9.56 ^{lm}	234.29 ± 14.12 ^{ikl}	/	/	/	/	385.43
A-2	/	13.13 ± 0.81 ^q	25.16 ± 2.15 ^{nop}	/	146.69 ± 11.71 ^{bij}	143.73 ± 8.62 ^{qr}	25.14 ± 1.35 ^{klmn}	75.53 ± 1.41 ^b	/	/	429.38
A-3	6.10 ± 0.46 ^f	19.74 ± 0.92 ^q	75.38 ± 6.84 ^{gh}	/	136.00 ± 9.53 ^{jkl}	93.36 ± 6.52 st	18.82 ± 1.78 ^{op}	/	/	/	349.41
A-4	/	/	93.34 ± 7.52 ^e	/	109.62 ± 6.60 ^{mn}	18.35 ± 1.16 ^w	18.35 ± 0.71 ^{op}	/	/	/	239.66
A-5	/	/	75.36 ± 4.52 ^{gh}	/	140.29 ± 11.21 ^{bijk}	147.63 ± 7.47 ^{qr}	113.94 ± 5.73 ^d	/	/	/	477.22
A-6	8.48 ± 0.51 ^e	/	71.85 ± 4.34 ^{ghj}	/	127.10 ± 7.63 ^{kl}	22.39 ± 1.21 ^{vw}	19.82 ± 0.90 ^{nop}	/	/	/	249.63
B-1	/	95.13 ± 5.87 ^k	6.76 ± 0.45 ^q	21.53 ± 1.21 ^e	132.71 ± 10.67 ^{jkl}	205.73 ± 10.30 ^{mmo}	16.06 ± 0.47 ^p	/	/	/	477.91
B-2	/	133.48 ± 6.72 ^g	64.11 ± 3.31 ^{hi}	/	180.38 ± 10.12 ^{fg}	518.97 ± 13.43 ^b	/	237.63 ± 9.30 ^a	/	/	1 134.57
B-3	/	112.29 ± 7.69 ^{hi}	68.6 ± 1.61 ^{hi}	1.41 ± 0.45 ^{lm}	61.95 ± 2.43 ^{rs}	81.89 ± 5.37 st	/	/	/	/	326.13
B-4	/	/	84.11 ± 4.33 ^{ef}	/	57.52 ± 5.36 st	183.53 ± 12.71 ^{mop}	14.11 ± 3.69 ^p	/	/	/	339.26
C-1	/	45.90 ± 5.23 ^o	24.09 ± 4.15 ^{nop}	7.75 ± 1.78 ^{gh}	119.20 ± 6.72 ^{lm}	66.64 ± 1.63 ^{tu}	/	/	/	/	263.58
C-2	/	313.33 ± 3.15 ⁿ	31.50 ± 2.72 ^{lmno}	4.53 ± 0.65 ^{jkl}	292.42 ± 2.36 ^c	461.66 ± 20.59 ^d	54.38 ± 4.81 ^h	/	/	/	1 157.82
C-3	/	42.73 ± 2.14 ^{op}	67.81 ± 5.82 ^{hi}	7.39 ± 0.43 ^{ghj}	43.97 ± 7.56 ^{tu}	258.57 ± 11.43 ⁱ	180.42 ± 6.22 ^a	/	/	/	600.89
C-4	/	110.15 ± 7.43 ^{bij}	35.37 ± 3.21 ^{lmn}	9.07 ± 0.65 ^{gh}	203.7 ± 9.5 ^e	395.78 ± 17.84 ^f	159.16 ± 6.85 ^b	/	/	/	913.22
C-5	14.33 ± 0.3 ^{bc}	65.94 ± 5.47 ^m	16.93 ± 0.98 ^{pq}	7.37 ± 0.66 ^{ghj}	76.34 ± 1.82 ^{pq}	209.16 ± 13.53 ^{lmn}	94.08 ± 6.11 ^c	/	/	/	484.15
C-6	/	151.39 ± 4.25 ^f	33.28 ± 6.34 ^{lmno}	16.28 ± 0.86 ^f	330.82 ± 4.63 ^b	582.77 ± 21.87 ^a	158.86 ± 3.13 ^b	/	/	/	1 273.40
C-7	/	203.49 ± 8.39 ^c	67.83 ± 10.48 ^{hi}	2.22 ± 0.52 ^{lm}	223.63 ± 8.54 ^d	481.68 ± 30.67 ^{cd}	45.49 ± 1.74 ⁱ	/	/	/	1 001.59
D-1	/	60.03 ± 7.65 ^{mn}	67.11 ± 2.64 ^{hi}	/	33.06 ± 2.73 ^{uvw}	223.93 ± 19.62 ^{klm}	/	/	/	/	384.14
D-2	/	233.71 ± 8.73 ^c	196.53 ± 13.73 ^c	56.23 ± 4.95 ^b	174.46 ± 13.58 ^g	381.98 ± 23.72 ^{fg}	29.97 ± 2.74 ^{kl}	/	/	/	1 072.86
D-3	/	270.94 ± 9.83 ^b	222.15 ± 12.33 ^b	15.69 ± 3.52 ^f	72.51 ± 4.11 ^{qr}	198.25 ± 14.93 ^{mmo}	85.97 ± 3.24 ^f	/	/	/	865.50
E-1	14.78 ± 0.78 ^c	100.11 ± 9.33 ^{jk}	16.56 ± 0.55 ^{pq}	/	21.05 ± 4.23 ^{wx}	47.40 ± 1.89 ^{uv}	/	/	/	/	192.51
E-2	/	48.09 ± 4.67 ^o	32.68 ± 3.57 ^{lmno}	2.81 ± 0.79 ^{klm}	10.82 ± 2.83 ^x	/	/	/	/	/	127.86
E-3	/	119.36 ± 9.63 ^h	26.88 ± 1.87 ^{nop}	/	48.61 ± 4.66 ^{stu}	46.48 ± 2.13 ^{uv}	/	/	/	/	241.33
F-1	/	/	52.62 ± 2.82 ^{jk}	/	195.21 ± 18.55 ^{ef}	435.83 ± 21.77 ^e	79.12 ± 8.32 ^g	/	/	/	762.78

续表 5

产品 代号	生抽的生物胺含量/(mg/L)									
	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	酪胺	亚精胺	精胺	总生物胺	
F-2	/	/	34.49 ± 4.86 ^{lmno}	/	109.78 ± 12.45 ^{mn}	87.04 ± 3.93 st	/	/	231.32	
F-3	/	51.43 ± 2.32 ^{no}	52.35 ± 3.16 ^{jk}	/	149.17 ± 8.44 ^{hi}	359.24 ± 2.55 ^e	/	/	612.19	
G-1	/	105.6 ± 2.94 ^{ijk}	82.44 ± 1.93 ^{fe}	10.40 ± 0.78 ^e	156.07 ± 9.32 ^h	285.52 ± 4.56 ⁱ	/	/	640.03	
H-1	/	210.56 ± 13.8 ^{de}	60.52 ± 8.65 ^{ji}	42.29 ± 3.82 ^c	124.21 ± 7.93 ^{klm}	432.07 ± 23.84 ^e	/	/	869.65	
H-2	/	67.28 ± 4.77 ^m	27.25 ± 3.93 ^{nop}	3.82 ± 0.78 ^{klm}	25.19 ± 4.19 ^{vwx}	181.67 ± 12.83 ^{op}	/	/	305.21	
A-7	/	17.18 ± 0.95 ^q	30.77 ± 4.87 ^{gho}	4.33 ± 1.23 ^{ijkl}	133.86 ± 8.45 ^{ijkl}	81.82 ± 12.14 st	31.15 ± 5.83 ^{jk}	/	299.10	
A-8	/	19.32 ± 1.71 ^q	27.76 ± 3.54 ^{nop}	0.53 ± 0.05 ^{lm}	130.74 ± 23.13 ^{ijkl}	163.27 ± 5.85 ^{pq}	24.01 ± 2.12 ^{lmno}	/	365.63	
B-5	13.39 ± 2.13 ^d	62.5 ± 3.92 ^m	41.56 ± 0.78 ^{klm}	3.73 ± 1.25 ^{klm}	128.81 ± 3.95 ^{kl}	489.85 ± 23.27 ^e	96.83 ± 7.94 ^e	/	836.66	
A-9	9.18 ± 0.95 ^e	14.23 ± 2.85 ^q	48.7 ± 3.97 ^k	2.50 ± 0.75 ^{klm}	23.99 ± 1.48 ^{vwx}	74.16 ± 3.86 st	28.74 ± 6.54 ^{kl}	/	201.49	
B-8	/	132.92 ± 7.41 ^g	43.27 ± 3.83 ^{kl}	37.34 ± 1.77 ^d	220.04 ± 16.52 ^d	327.32 ± 28.42 ^h	34.79 ± 2.87 ⁱ	/	795.68	
C-8	/	/	22.75 ± 4.87 ^{op}	16.43 ± 1.21 ^f	316.88 ± 18.34 ^b	248.85 ± 23.13 ^{jk}	/	/	604.91	
D-4	30.44 ± 2.9 ^a	81.55 ± 9.23 ^l	111.26 ± 10.63 ^d	21.97 ± 4.67 ^p	90.50 ± 3.56 ^{op}	100.44 ± 9.25 ^s	26.71 ± 1.46 ^{klm}	/	462.88	
A-10	/	34.56 ± 1.72 ^p	41.44 ± 4.67 ^{klm}	1.55 ± 0.85 ^{lm}	39.17 ± 2.93 ^{uv}	240.54 ± 7.62 ^{jk}	25.07 ± 0.86 ^{klmn}	/	382.32	
C-9	/	68.17 ± 11.52 ^m	23.99 ± 2.67 ^{nop}	16.55 ± 0.66 ^f	58.87 ± 3.78 ^{rst}	100.46 ± 5.93 ^s	148.33 ± 3.54 ^e	/	416.37	
D-5	/	/	387.11 ± 21.61 ^a	168.04 ± 9.29 ^a	97.96 ± 7.33 ^{no}	485.34 ± 18.61 ^{cd}	/	/	1 138.44	
E-4	/	112.25 ± 7.23 ^{hi}	7.26 ± 0.45 ^q	/	185.34 ± 3.85 ^{fg}	505.95 ± 31.92 ^{bc}	22.29 ± 0.87 ^{mno}	/	833.10	
F-4	/	216.09 ± 15.88 ^d	33.93 ± 2.95 ^{lmno}	6.37 ± 0.77 ^{hijk}	368.91 ± 12.85 ^a	128.85 ± 6.11 ^f	/	/	754.15	

注: 本表中同字母不同数字的产品代号为同一品牌, 不同产品。“/”代表样本中该生物胺含量较低, 本实验条件下未被检测。

表 6 不同等级老抽中生物胺的含量
Table 6 Contents of biogenic amines in dark soy sauces

产品代号	老抽的生物胺含量/(mg/L)								总胺
	色胺	苯乙胺	腐胺	尸胺	组胺	酪胺	亚精胺	精胺	
A-11	/	/	9.55 ± 0.78 ^{gh}	/	180.56 ± 9.74 ^c	115.82 ± 7.65 ^g	/	/	305.94
D-6	/	163.02 ± 3.82 ^c	58.03 ± 1.74 ^c	0.46 ± 0.03 ^d	52.38 ± 2.66 ^{ij}	189.43 ± 8.33 ^c	28.08 ± 2.95 ^a	/	491.4
E-5	28.61 ± 4.27 ^a	153.55 ± 9.58 ^c	0	/	302.35 ± 14.67 ^a	353.24 ± 23.86 ^b	/	/	837.75
E-6	/	155.92 ± 4.13 ^c	17.02 ± 3.94 ^f	7.59 ± 0.78 ^c	140.46 ± 4.79 ^f	320.72 ± 15.65 ^c	/	/	641.71
F-5	/	139.1 ± 4.84 ^d	61.29 ± 5.88 ^c	/	133.41 ± 2.96 ^{fg}	115.44 ± 11.44 ^g	/	/	449.24
F-6	/	140.76 ± 9.83 ^d	114.53 ± 5.89 ^b	13.94 ± 0.84 ^b	112.37 ± 6.32 ^h	479.61 ± 14.68 ^a	/	/	861.21
A-12	/	/	4.67 ± 0.42 ^{hi}	/	172.79 ± 10.35 ^c	104.29 ± 3.13 ^{gh}	/	/	281.75
A-13	25.43 ± 0.88 ^b	/	26.39 ± 2.35 ^e	/	231.16 ± 11.57 ^c	60.97 ± 1.89 ^{jk}	/	/	343.94
A-14	/	55.7 ± 3.16 ^g	18.23 ± 1.43 ^f	/	145.14 ± 9.14 ^f	41.89 ± 1.34 ^{kl}	/	/	260.96
C-10	/	124.84 ± 6.62 ^c	36.35 ± 0.87 ^d	/	44.35 ± 1.28 ^{jk}	72.44 ± 4.27 ^{ij}	/	/	277.98
C-11	/	112.25 ± 5.66 ^f	14.47 ± 0.50 ^{fg}	/	35.07 ± 3.16 ^k	38.75 ± 3.24 ^l	/	/	200.54
D-7	/	117.7 ± 7.75 ^{ef}	177.48 ± 6.71 ^a	57.43 ± 1.93 ^a	120.08 ± 4.24 ^{gh}	251.65 ± 20.15 ^d	24.38 ± 1.65 ^b	/	748.7
I-1	/	186.67 ± 5.28 ^b	24.97 ± 1.34 ^e	/	64.68 ± 3.48 ⁱ	89.61 ± 4.21 ^{hi}	/	/	365.94
A-15	/	/	4.43 ± 0.67 ^{hi}	8.28 ± 1.34 ^c	209.81 ± 15.89 ^d	150.08 ± 5.86 ^f	9.31 ± 0.78 ^d	/	381.91
A-16	/	46.91 ± 4.18 ^g	7.06 ± 0.62 ^h	/	257.16 ± 12.54 ^b	153.32 ± 8.23 ^f	14.65 ± 0.31 ^c	/	479.1
H-3	/	239.05 ± 7.04 ^a	113.16 ± 8.63 ^b	56.34 ± 2.55 ^a	171.16 ± 13.67 ^c	324.91 ± 24.68 ^c	/	/	904.61

注 1: 本表中不同字母为不同品牌, 同字母不同数字的产品代号为同一品牌, 不同产品。“/”代表样本中含量较低, 该实验条件下未被检测到。

2.4 酱油生物胺风险评估

由于其他生物胺毒理学性质与剂量关系不明, 本研究以酱油中组胺、酪胺所测得最高值进行进行风险分析, 评估极端情况下酱油中生物胺对人体的风险指数。结果见表 7 所示。在急性摄入风险方面, 生抽中组胺和酪胺的急性风险指数 H 为 7.69% 和 1.99%; 老抽组胺与酪胺的急性风险指数 H 分别为 2.10%、和 0.55%, 远低于 100%, 结果表明膳食摄入通过酱油引入的组胺与酪胺急性风险较低。在慢性膳食摄入风险方面, 生抽和老抽的组胺和酪胺的慢性风险指数 E 值较小, 其范围在 0.15%~1.65% 之间, 表明长期摄入酱油慢性膳食摄入风险非常低。由此可知, 由食用酱油而摄入的组胺与酪胺对人体健康暂不足以构成危害。另外本研究还利用食品安全指数法验证食用酱油的生物胺安全性, 结果可知, 生抽和老抽的食品安全指数 (IFS) 在 0.001~0.016 之间, 远小于 1, 进一步表明酱油中引入的生物胺对人体健康造成的风险较低。

表 7 膳食摄入生物胺安全风险分析

Table 7 Safety risk analysis of dietary intake of biogenic amines

产品	生物胺	急性风险指数 (H, %)	慢性风险指数 (E, %)	食品安全指数 (IFS)
生抽	组胺	7.69	1.65	0.016
	酪胺	1.99	0.59	0.006
老抽	组胺	2.10	0.62	0.006
	酪胺	0.55	0.15	0.001

注: 生抽的人均摄入量以 15.0 mL/d 计算; 老抽的人均摄入量以 5.0 mL/d 计算。

3 讨论

酱油作为典型的发酵调味食品, 其生物胺含量及其对人体潜在的影响一直受到国内外广泛关注。因为不同食品的食用量和特性有较大差异, 目前各国食品监管部门采用的方法是结合每种食品的特性、摄入量和危害性来综合评估其食用风险。然而,

国内外并未针对酱油产品制定相应的生物胺限量标准。因此,如果脱离摄入剂量而谈论毒性,或是片面地强调生物胺毒性、忽略其在人体内天然存在的客观事实和所发挥的积极作用,易造成结果的失真和引发广大消费者的恐慌。另外,考虑到生物胺具有“低促高毒”的特点,有学者建议把生物胺总量超过 1 000 mg/kg 作为衡量食品安全的重要指标,且认为食品中的组胺和酪胺分别超过 100 mg/kg 和 100 mg/kg 会造成人体中毒^[28,29]。然而,不同种类的食品,其蛋白质含量、生产工艺、食用量的差异,会导致生物胺的摄入水平相差甚远。因此很难通过统一的标准量来衡量食品中生物胺的安全性。

表 8 各类食品中生物胺的含量及摄入水平

Table 8 Contents and intake levels of biogenic amines in various foods

食品类别	平均食用量	检测量平均值	摄入水平
腌制鱼 ^[30]	15.4 g/d ^[33]	组胺 337.30 mg/kg	组胺 5.19 mg
		酪胺 51.04 mg/kg	酪胺 0.79 mg
中式发酵香肠 ^[31]	25.0 g/d ^[34]	组胺 196.06 mg/kg	组胺 4.90 mg
		酪胺 164.67 mg/kg	酪胺 4.13 mg
干酪 ^[32]	23.9 g/d ^[32]	组胺 7.32 mg/kg	组胺 0.17 mg
		酪胺 1.89 mg/kg	酪胺 0.04 mg
生抽	15.0 mL/d	组胺 132.12 mg/L	组胺 1.98 mg
		酪胺 237.38 mg/L	酪胺 3.56 mg
老抽	5.0 mL/d	组胺 148.31 mg/L	组胺 0.74 mg
		酪胺 178.89 mg/L	酪胺 0.89 mg

注:表中不同品类组胺和酪胺含量均来自参考文献中检测出的平均值,不代表该产品的真实含量;鱼类产品人均消费量为 61.67 g/d,考虑消费鱼主要来自鲜活、冰鲜、冷冻和腌制等多种方式,取腌制鱼消费量每日占比为 1/4。

如表 8 所示,研究表明不同代表性食品中组胺和酪胺的含量。例如乔娜^[30]发现市售腌制鱼当中,组胺和酪胺最高含量分别可高达 2 552.23 mg/kg 和 365.14 mg/kg,检测的 22 份腌制鱼的平均含量分别为 337.30 mg/kg 和 51.04 mg/kg,中式发酵香肠组胺和的平均含量也可高达 196.06 mg/kg 和 164.67 mg/kg^[31]。本研究中生抽和老抽酱油中组胺和酪胺的平均含量分别为 132.12 mg/L 和 237.38 mg/L, 148.31 mg/L 和 178.89 mg/L;由此可知,这两类生物胺在酱油中含量处于中等水平。值得注意的是,组胺和酪胺的摄入水平因食用量的差异而显著不

同,其中腌制鱼和中式发酵香肠可摄入组胺的量分别为 5.19 mg 和 4.90 mg,生抽和老抽稍低,分别为 1.98 mg 和 0.74 mg。综上所述,为了充分评价某食品中生物胺的安全性并制定限量标准,需从客观和科学的角度,根据生物胺的毒理学性质,并考虑国人食用习惯及摄入水平等因素。

一般来说,酱油主要作为鲜味、咸味剂和上色目的使用(人均<20 mL/d),用量很低,因此酱油不应直接遵从或者参考国内外水产品中生物胺的限量标准。本文的目的在于结合市面现有酱油中生物胺的检测结果,采用较为科学的评价方法,评估酱油产品的生物胺摄入风险。

结果表明,酱油中生物胺急性风险和慢性风险指数均较低,即酱油产品的食用风险不高。其次,欧盟食品安全局结合生物胺的毒理学性质,建议每人每餐摄入的组胺含量最好低于 50 mg,每人每餐摄入酪胺不超过 600 mg^[22]。以组胺含量最高的生抽 F-5 (368.91 mg/L) 为例,单次食用 135.53 mL 才会达到欧盟食品安全局推荐的摄食限量标准;以酪胺含量最高的 C-6 酱油 (582.77 mg/L) 来说,摄入量超过 1 000 mL 才会达到欧盟食品安全局推荐的摄食限量标准。另外,根据欧盟食品安全局的报道显示^[4],健康人群即使小幅度超过上述摄入量,其症状也较轻。比如,健康志愿者直接注射 120 mg 的组胺进入十二指肠后未出现任何症状,食用鲭鱼(含 300 mg 的组胺)后出现轻微头痛和面部潮红的症状。同时,实验评估健康人群在一餐中摄入酪胺的量达到 600~2 000 mg 才会出现轻微血压波动等不良反应。因此,可推测健康人群对组胺和酪胺的耐受量一般远高于 50 和 600 mg;另外,一般情况下,生物胺急性中毒的症状一般在食用生物胺后的 30 min 至几小时内出现,在几小时内消失,通常在 24 h 内完全恢复。因此,健康人群偶尔大量食用,对健康的负面影响程度也较低。但考虑到体内较高的乙醇含量会降低人体代谢生物胺的能力,饮用含高酒精饮料或者自身对生物胺耐受能力较弱的人群在摄入不同类别的含高浓度生物胺的食物时可能会引起潜在的健康危害^[35]。

4 结论

本研究对我国市售的 9 个品牌的 57 种酱油(生抽 41 种和老抽 16 种)中的生物胺含量进行了检测分析。结果表明:苯乙胺、腐胺、组胺、酪胺是市

售酱油中主要的生物胺。生抽酱油总生物胺的含量分布范围为 127.86~1 273.40 mg/L, 其中组胺的含量范围为 10.82~368.91 mg/L, 酪胺的含量分布范围为 0~582.77 mg/L。老抽酱油生物胺的含量分布范围为 200.54~904.61 mg/L, 其中组胺与酪胺的含量范围分别为 35.07~302.35 mg/L 和 38.75~479.61 mg/L。考虑到酱油在我国主要作为调味品使用, 食用量相对较少, 不容易达到欧盟食品安全局推荐的组胺与酪胺摄入限量。基于风险评估结果显示, 由食用酱油的引入人体的组胺和酪胺不会对健康造成急性或慢性危害。综合目前的研究, 我国市售生抽酱油的食用安全性较高。值得注意的是, 由于体内较高的乙醇含量会降低人体代谢生物胺的能力, 在饮用酒精饮料的同时摄入含高浓度生物胺的食物时可能会引起潜在的健康危害。因此, 我国应尽快开展评估食品中生物胺的限量标准制定的相关工作, 进而提高和改善食品的质量与安全、保障人体的安全。

参考文献

- [1] DIEZ-SIMON C, EICHELSCHEIM C, MUMM R, et al. Chemical and sensory characteristics of soy sauce: a review [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(42): 11612-11630.
- [2] WANG J, ZHAO M, XIE N, et al. Community structure of yeast in fermented soy sauce and screening of functional yeast with potential to enhance the soy sauce flavor [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2022, 370: 109652-109664.
- [3] DEVANTHI P V P, GKATZIONIS K. Soy sauce fermentation: Microorganisms, aroma formation, and process modification [J]. *Food Research International*, 2019, 120: 364-374.
- [4] 葛金鑫,李永凯,曾斌.酱油的风味物质[J].*中国酿造*,2019, 38(10):16-20.
- [5] DING C, MENG M, JIANG Y, et al. Improvement of the quality of soy sauce by reducing enzyme activity in *Aspergillus oryzae* [J]. *Food Chemistry*, 2019, 292: 81-89.
- [6] LIU B, CAO Z, QIN L, et al. Investigation of the synthesis of biogenic amines and quality during high-salt liquid-state soy sauce fermentation [J]. *LWT*, 2020, 133: 109835-108943.
- [7] MANNAA M, SEO Y S, PARK I. Addition of coriander during fermentation of Korean soy sauce (Gangjang) causes significant shift in microbial composition and reduction in biogenic amine levels [J]. *Foods*, 2020, 9(10): 1346-1354.
- [8] 庞超,耿涵,姚汐雨,等.传统酱油酿造过程中优势细菌的筛选及功能分析[J].*中国酿造*,2018,37(6):41-45.
- [9] RUIZ-CAPILLAS C, JIMÉNEZ-COLMENERO F. Biogenic amines in meat and meat products [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2005, 44(7-8): 489-599.
- [10] LEUSCHNER R G, HEIDEL M, HAMMES W P. Histamine and tyramine degradation by food fermenting microorganisms [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 1998, 39(1-2): 1-10.
- [11] 李志军,吴永宁,薛长湖.生物胺与食品安全[J].*食品与发酵工业*,2004,30(10):84-92.
- [12] OZOGUL Y, OZOGUL F. Biogenic amines formation, toxicity, regulations in food [J]. *Biogenic Amines in Food: Analysis, Occurrence and Toxicity*, 2019, 20: 1-10.
- [13] WÓJCIK W, ŁUKASIEWICZ M, PUPPEL K. Biogenic amines: formation, action and toxicity—a review [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2021, 101(7): 2634-2640.
- [14] BULUSHI I A, POOLE S, DEETH H C, et al. Biogenic amines in fish: roles in intoxication, spoilage, and nitrosamine formation—a review [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2009, 49(4): 369-377.
- [15] BAHRUDDIN S, ROSANNA T. *Biogenic Amines in Food: Analysis, Occurrence and Toxicity* [M]. England, Royal Society of Chemistry, 2019.
- [16] HUNGERFORD J M. Histamine and scombrottoxins [J]. *Toxicon*, 2021, 201: 115-126.
- [17] FAO/WHO. Public health risks of histamine and other biogenic amines from fish and fishery products [C]// Joint FAO/WHO Expert Meeting Report; Rome, Italy, 23-27.
- [18] 王光强,俞剑燊,胡健,等.食品中生物胺的研究进展[J].*食品科学*,2016,37(1):269-278.
- [19] 易丽娟,赵晓娟,白卫东.食品中生物胺检测方法的研究进展[J].*食品研究与开发*,2016,37(14):197-201.
- [20] 李燕君.薄层色谱法检测黄酒生物胺的研究[J].*广州化学*,2017,42(4):18-25.
- [21] 温馨,黎小鹏,谭淑铎,等.2021年中山市种植蔬菜农药残留及膳食风险评估[J].*浙江农业科学*,2023,64(2):455-463.
- [22] 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.
- [23] 马新耀,王静,朱九生,等.山西省番茄中农药与重金属污染特征及膳食摄入风险评估[J].*农业环境科学学报*,2021, 40(7):1432-1440.
- [24] LU Y M, CHEN X H, JIANG M, et al. Biogenic amines in Chinese soy sauce [J]. *Food Control*, 2009, 20(6): 593-597.
- [25] SCHWAB M. *Biogenic Amines* [M]. Berlin: Springer, 2009.
- [26] 李世聪,闻剑,邓小玲,等.广东省城市居民食物和营养素

- 摄入现状及变化趋势[J].中国公共卫生,2014,30(9):1109-1112.
- [27] LI J, ZHOU L, FENG W, et al. Comparison of biogenic amines in Chinese commercial soy sauces [J]. *Molecules*, 2019, 24(8): 1522.
- [28] 刘光明,梁一巍,李传勇,等.海洋中上层鱼类产品中生物胺的调查与控制[J].中国食品学报,2019,19(8):1-12.
- [29] PRESTER L. Biogenic amines in fish, fish products and shellfish a review [J]. *Food Additives & Contaminants*, 2011, 28 (11) :1547-1560
- [30] 乔娜.环境因素对腌制鱼生物胺形成的影响作用研究[D].广州:广东工业大学,2020.
- [31] SUN X, ZHOU K, GONG Y, et al. Determination of biogenic amines in Sichuan-style spontaneously fermented sausages [J]. *Food Analytical Methods*, 2016, 9: 2299-2307.
- [32] 刘景,任婧,王渊龙,等.中国地区干酪生物胺风险评估中膳食暴露评估模型的构建[J].食品工业科技,2013, 34(23):289-294.
- [33] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴2020[M].北京:中国统计出版社,2020.
- [34] 王静.发酵肉制品中有害微生物安全风险评估[D].天津:天津科技大学,2016.
- [35] GAO X, LI C, HE R, et al. Research advances on biogenic amines in traditional fermented foods: Emphasis on formation mechanism, detection and control methods [J]. *Food Chemistry*, 2023, 45(30): 134911.