DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250829004
引用格式: 辜世伟, 黄金凤, 赵博, 等. 2024 年重庆地区市售酱油重金属污染调查及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(1): 347–353.
GU SW, HUANG JF, ZHAO B, *et al*. Investigation on heavy metal pollution and dietary risk assessment of soy sauce sold in Chongqing in 2024 [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(1): 347–353. (in Chinese with English abstract).

2024 年重庆地区市售酱油重金属污染调查及膳食风险评估

辜世伟[1,2], 黄金凤[1,2], 赵　博[1,2*], 刘　顶[1,2], 郑钦月[1,2], 任泓宇[1,2], 张　婧[1,2]

[1. 重庆市食品药品检验检测研究院, 重庆　401121;
2. 国家市场监督管理总局重点实验室(调味品监管技术), 重庆　400715]

摘　要: 目的　调查 2024 年市售酱油重金属污染情况并评估其膳食暴露风险。**方法**　采集 180 份酱油样本(预包装酱油 139 份、散装酱油 41 份), 参照国家标准检测铅(Pb)、镉(Cd)、铬(Cr)、砷(As)、锰(Mn)、镍(Ni)、铜(Cu) 7 种重金属含量; 采用单因子污染指数法(single-factor pollution index, P_i)、内梅罗综合污染指数法(nemerow comprehensive pollution index, P_N)评估 Pb 和 As 污染水平; 采用目标危害系数法(target hazard quotient, THQ)和综合目标危害系数法(total target hazard quotient, TTHQ)评估重金属膳食暴露风险。**结果**　180 份酱油均有重金属检出, 但检出重金属类型存在差异。根据 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》限量要求(Pb≤1.0 mg/kg、As≤0.5 mg/kg), 139 份预包装酱油仅 Pb 检出不合格样, 不合格率 2.16%; 其余检出重金属平均含量由高到低依次为 Mn>Ni>Pb>Cr>Cu>As>Cd; 41 份散装酱油 Pb、As 均符合限量要求, 其余检出重金属平均含量由高到低依次为 Mn>Ni>Cr>Pb。180 份酱油中 3 份预包装酱油 Pb 达到污染等级, 其余均为安全。P_N 显示, 预包装酱油 Pb 处于轻度污染, 散装酱油 Pb 接近警戒线, As 均为安全。所有酱油重金属的 THQ 和 TTHQ 值均小于 1。**结论**　多数酱油重金属污染水平低, 但少部分酱油 Pb 处于轻度污染或中度污染, 有待加强质量监控; 正常摄入量下, 酱油中重金属膳食暴露风险可接受。

关键词: 酱油; 重金属; 膳食暴露风险

Investigation on heavy metal pollution and dietary risk assessment of soy sauce sold in Chongqing in 2024

GU Shi-Wei[1,2], HUANG Jin-Feng[1,2], ZHAO Bo[1,2*], LIU Ding[1,2], ZHENG Qin-Yue[1,2], REN Hong-Yu[1,2], ZHANG Jing[1,2]

(1. *Chongqing Institute for Food and Drug Control*, *Chongqing* 401121, *China*;
2. *Key Laboratory of Condiment Supervision Technology*, *State Administration for Market Regulation*, *Chongqing* 400715, *China*)

收稿日期: 2025-08-29
基金项目: 重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(CSTB2022TIAD-GPX0025); 重庆市食品药品检验检测研究院院内课题项目(CQIFDC-YJKT-2021-08)
第一作者: 辜世伟(1983—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全。E-mail: 568859834@qq.com
***通信作者:** 赵博(1980—), 男, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品安全。E-mail: 2805325119@qq.com

ABSTRACT: Objective To investigate the heavy metal pollution and evaluate the dietary exposure risk of soy sauce in 2024. **Methods** This study collected 180 portions of soy sauce, including 139 portions of pre-packaged soy sauce and 41 portions of bulk soy sauce. Content of 7 kinds of elements including lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), total arsenic (As), manganese (Mn), nickel (Ni) and copper (Cu) were determined by national standards. The pollution degree of Pb and As was evaluated by single-factor pollution index method (P_i) and nemerow comprehensive pollution index method (P_N). The dietary exposure risk was evaluated by target hazard quotient (THQ) and total target hazard quotient (TTHQ). **Results** The heavy metals were detected in all soy sauces, but there were differences in the types of heavy metals. According to the limited requirements of GB 2762—2022 *National food safety standard-Limits of contaminants in food* (Pb≤1.0 mg/kg and As≤0.5 mg/kg), only Pb in the 139 portions of pre-packaged soy sauce was detected to have unqualified samples, with an unqualified rate of 2.16%. The average content of other detected heavy metals was sorted as Mn>Ni>Pb>Cr>Cu>As>Cd. The 41 portions of bulk soy sauce Pb and As met the limited quantity requirements. And the average content of other detected heavy metals was sorted as Mn>Ni>Cr>Pb. Out of 180 soy sauce samples, 3 pre packaged soy sauce samples had reached the pollution level for Pb, while the rest were safe. P_N showed that pre packaged soy sauce Pb was mildly contaminated, bulk soy sauce Pb was close to the warning line, and As was safe. The THQ and TTHQ values of heavy metals in all soy sauce were less than 1. **Conclusion** Most soy sauces have low contamination levels, only a small number of soy sauces are in mild and moderate contaminated. Therefore, the quality monitoring of soy sauce condiments should be strengthened. Under normal intake, the risk of dietary exposure of heavy metals in soy sauce is acceptable.

KEY WORDS: soy sauce; heavy metal; dietary exposure risk

0 引 言

民生基础要素包括柴、米、油、盐、酱、醋、茶七类。“酱”即指酱油，是以蛋白质原料和淀粉质原料(大豆和/或脱脂大豆、小麦和/或小麦粉和/或麦麸)，经曲霉、酵母菌、乳杆菌等耐盐微生物发酵制成的具有特殊色、香、味的液体调味品。目前，酱油生产工艺主要包括天然露晒发酵法、低盐固态发酵法、高盐稀态发酵法和固稀发酵法[1]。经微生物发酵生产的酱油酱香浓郁、味道鲜美，在我国餐饮文化中占据主导地位，成为国人喜爱的调味品之一。相关资料显示，酱油已成为我国调味品行业第一大产业，年产量高达 500 万 t，我国是名副其实的酱油生产和消费大国[2−3]。酱油不仅是一种调味品，更是一种潜在的功能性食品。研究指出，酱油具有抗炎、抗氧化、抗高血压、抗过敏、调节免疫等功效，这与其含有的活性成分，如酚类、多糖、类黄酮以及肽类物质等息息相关[4−6]。随着社会高速发展，人们对于食品保健功能需求不断攀升，各种强化钙(Ca)、铁(Fe)、锌(Zn)等金属元素的功能性酱油层出不穷[7]，使得人们开始关注酱油重金属含量问题。

2025 年 3 月，《消费者报道》向第三方权威检测机构送检了 13 份不同厂家的零添加酱油，结果显示 12 份酱油检出镉(Cd)，含量范围 0.00572~0.0110 mg/kg，53.85%的酱油检出砷(As)[8]。依据 GB 2762—2022《食品安全国家标准 食品中污染物限量》，酱油中 As 的最大限量为 0.5 mg/kg，Cd 含量尚未设置限量标准。虽然此次酱油重金属检测符合现行标准，但 Cd 和 As 属于致癌物质，具有蓄积毒性[9−10]，长期接触会对人体产生慢性危害。目前，酱油研究主要集中在产品研发、工艺优化、检测技术及风味成分等方面[1,11−13]，对于重金属含量鲜有报道。汪晓冬[14]采用微波消解-电感耦合等离子质谱法分析了 8 种市售酱油中 10 种元素，其中 Fe 和 Zn 的含量较高，重金属元素铅(Pb)和铬(Cr)相对较高。卢玉曦等[15]采用高效液相色谱法测定酱油中 Pb 和镍(Ni)含量，由于国家未对调味品中 Ni 含量作相关规定暂不明确是否符合外，Pb 含量均低于国家标准。

重庆作为老工业基地和超大城市，其独特的地理和产业背景可能导致环境中金属元素通过原料和工艺进入酱油，其安全性是研究工业化、城市化对食品安全影响的理想样本，同时酱油在重庆饮食习惯中消费量大，研究其安全性对保障居民健康具有更直接的公共卫生意义。直至目前，鲜有相关研究对该区域性市售酱油重金属污染水平和膳食风险进行评估。因此，本研究拟采集重庆市售酱油对其重金属含量水平及分布特征进行分析，并评估其污染水平和膳食暴露风险，以期为我国酱油调味品的食用安全提供一定的参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

酱油样品均为国内生产酱油，共 180 份。其中预包装

产品 139 份, 于 2024 年购自重庆各大、中、小型超市, 41 份为散装酱油, 于 2024 年购自重庆江津、綦江、南川等 7 个区县。

硝酸(优级纯, 重庆川东化工有限公司); Pb、Cd、Cr、As、锰(Mn)、Ni、铜(Cu)混合标准溶液(质量浓度 1000 mg/L)、铟(In)、铑(Rh)、铋(Bi)、钪(Sc)内标溶液(质量浓度 1000 mg/L)(国家有色金属及电子材料分析测试中心); 实验用水为 GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和试验方法》规定的一级水。

1.2　仪器与设备

iCAP-RQ 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo Fisher Scientific 公司); MARS6 微波消解仪(美国 CEM 公司); FA324 电子天平(感量 0.1 mg, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司); Milli-Q 型全自动超纯水机(美国 Millipore 公司)。

1.3　实验方法

1.3.1　酱油重金属检测方法

Pb、Cd、Cr、As、Mn、Ni、Cu 的检测方法采用 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中第一法 电感耦合等离子体质谱法。每个样品平行测定 3 次。Pb、Cd、Cr、As、Mn、Ni、Cu 的检出限及定量限见表 1。

表 1　各元素检出限及定量限
Table 1　Limits of detection and limits of quantitation of each element

序号	元素	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
1	Pb	0.020	0.050
2	Cd	0.002	0.005
3	Cr	0.050	0.200
4	As	0.002	0.005
5	Mn	0.100	0.300
6	Ni	0.200	0.500
7	Cu	0.050	0.200

1.3.2　酱油重金属污染情况评估方法

采用单因子污染指数法(single-factor pollution index, P_i)、内梅罗综合污染指数法(nemerow comprehensive pollution index, P_N)评估酱油重金属污染程度[16–17]。P_i 计算公式(1)为:

$$P_i=C_i/S_i \tag{1}$$

式中: P_i 为重金属 i 的污染指数, 其值越大, 污染越严重; C_i 为酱油重金属 i 的实测含量平均值, mg/kg; S_i 为重金属 i 的污染物评价限量值, mg/kg。按照 GB 2762—2022 规定, 酱油中 Pb 和 As 的限量值分别为 1.0 mg/kg 和 0.5 mg/kg。现行标准未对其余 5 种重金属限量作相关要求。

P_N 计算公式(2)为:

$$P_N=\sqrt{(P_{iave}^2+P_{imax}^2)}/2 \tag{2}$$

式中: P_{iave} 为 P_i 平均值; P_{imax} 为 P_i 最大值。P_i 及 P_N 污染程度分级见表 2[18–19]。

表 2　P_i 及 P_N 分级表
Table 2　Classification standard of P_i and P_N

P 分布	污染等级	
	P_i	P_N
$P\leqslant 0.7$	优良	安全
$0.7<P\leqslant 1.0$	安全	警戒线
$1.0<P\leqslant 2.0$	轻度污染	轻度污染
$2.0<P\leqslant 3.0$	中度污染	中度污染
$P>3.0$	重度污染	重度污染

1.3.3　酱油重金属膳食风险评估方法

目标危害系数法(target hazard quotient, THQ)和综合目标危害系数法(total target hazard quotient, TTHQ)是美国国家环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)建议采用的用于评估一种或多种重金属的人体膳食暴露风险。该方法综合考虑了摄入量、暴露时间、体重等多因素, 以重金属人体摄入剂量与参考剂量的比值作为评估标准, 反映人体通过食物摄入重金属的风险。

单一重金属的健康风险和多种重金属的健康风险计算公式(3)和(4)为:

$$\mathrm{THQ}=\frac{E_F\times E_D\times F_{IR}\times C}{R_{FD}\times W_{AB}\times T_A}\times 10^{-3} \tag{3}$$

$$\mathrm{TTHQ}=\sum \mathrm{THQ} \tag{4}$$

式中: E_F 为暴露频率, 365 d/年; E_D 为暴露持久性, 取中国人口平均寿命 77.3 年[20]; F_{IR} 为人均日摄入剂量, 8.47 g/d[21]; C 为酱油中测得的重金属含量, mg/kg; R_{FD} 为人均每日每千克体重非致癌口服参考剂量, Pb=0.0035 mg/(kg • d), Cd=0.001 mg/(kg • d), Cr=0.003 mg/(kg • d), As=0.0003 mg/(kg • d), Mn=0.14 mg/(kg • d), Ni=0.02 mg/(kg • d), Cu=0.04 mg/(kg • d)[22–23]; W_{AB} 为平均体重, 该研究参考《中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)》中我国居民的平均体重, 64.3 kg[24]; T_A 为非致癌物平均暴露时间, 365 d/年×E_D。若 THQ (TTHQ)<1, 说明重金属对人体的膳食摄入风险可接受; 若 THQ (TTHQ)>1, 说明重金属对人体的膳食摄入风险超出可接受范围, 数值越大, 其对健康的负面影响越大。

1.4　数据处理

参照世界卫生组织(World Health Organization, WHO)推荐的食品中低水平污染物可信评价方法[25–28], 当样品未检出大于 60%时, 所有未检出数据用检出限替代; 当样品未检出小于 60%时, 所有未检出数据用 1/2 检出限替代。本研究中, 139 份预包装酱油 Pb、Cd、As、Mn 未检出数据小于 60%, 所有未检出数据用 1/2 检出限代替; Cr、Cu 未检出数据大于 60%, 所有未检出数据用检出限代替。41 份

散装酱油 Cd、As、Cu 未检出数据大于 60%, 所有未检出数据用检出限代替。

采用 Excel 2016 对实验数据进行录入、整理、统计分析, Origin 2017 绘图。

2 结果与分析

2.1 酱油中重金属含量分析

180 份酱油样品重金属 Pb、Cd、Cr、As、Mn、Ni、Cu 的检测情况见表 3 所示。结果表明, 180 份酱油样品均有重金属检出。139 份预包装酱油中 2 份酱油 7 类重金属均有检出, 其余酱油均含有不少于 2 类重金属, 超过 57.55%的酱油样品含有 5 类及以上重金属, 检出情况见图 1。预包装酱油 7 类重金属中, 平均含量从高到低依次为 Mn (5.587 mg/kg)>Ni (0.753 mg/kg)>Pb (0.109 mg/kg)>Cr (0.075 mg/kg)>Cu (0.057 mg/kg)>As (0.015 mg/kg)>Cd (0.013 mg/kg), 该结果与汪晓冬[14]研究结果存在一定的差异性, 这可能与酱油原料种植环境、生产工艺等相关; 单个重金属的检出率从高到低依次为 Mn (100.00%)>Cd (94.24%)>As (88.49%)>Ni (82.73%)>Pb (58.99%)>Cr (30.22%)>Cu (3.60%)。其中, 重金属 Mn 的平均含量超过 1.0 mg/kg, 检出率为 100.00%; Mn 的检出限为 0.1 mg/kg, 其中 86.33%酱油中 Mn 含量超过 20 倍检出限(2.0 mg/kg)。该研究结果与李敏等[12]的研究结果一致, 采用电感耦合等离子体-质谱法检测酱油中重金属含量, 结果显示 Mn 含量均高于除 Fe、Zn 外的其余重金属。Mn 是人体必需微量元素之一, 成年人每日供给量约为 2.5~5.0 mg, 但长期摄入过量会造成免疫系统和生殖系统损害, 会使得甲状腺摄碘机能低下, 出现甲亢[9,29]。酱油中 Mn 含量过高可能是由于酱油生产原料自身含量较高。Mn 是植物必需微量元素, 对其需求量高于其他重金属, 同时, 相关研究表明作为酱油生产原料之一的小麦对 Mn 较为敏感, 缺乏时会造成生长不良和产量低下, 因此施加 Mn 肥保证产量时会导致其累积浓度更高[30]。同时, 土壤环境中 Mn 含量过高也会使得原料作物吸收并富集更高浓度, 经微生物发酵后更易溶出。可能是含 Mn 生产、输送设备等(尤其是老旧或材质不佳的设备)在高浓度盐分下发生腐蚀, 致使 Mn 溶出。

139 份预包装酱油中重金属 Ni 和 Pb 的平均含量在 0.1~1.0 mg/kg 之间, 检出率均大于 50.00%。其中 Ni 的含量范围为 ND~2.156 mg/kg, 平均含量 0.753 mg/kg, 检出率 82.73%; Pb 的含量范围为 ND~2.098 mg/kg, 平均含量 0.109 mg/kg, 检出率 58.99%。其余重金属 Cr、As、Cd、Cu 均有检出, 平均含量均低于 0.1 mg/kg。其中 Cd 和 As 的检出率均高于 85.00%, 分别位于第二和第三位; Cr 的检出率为 30.22%, Cu 的检出率最低, 仅 5 份酱油有检出。根据 GB 2762—2022 限量要求, 139 份酱油检出 3 份酱油 Pb 含量超过 1.0 mg/kg, 不合格率 2.16%, 有待进行风险评估; As 均符合限量要求, 初步判定为安全。酱油中重金属污染主要来源于两方面, 一方面来自内源污染比如原料代入、水资源代入、非法添加等; 另一方面来自外源环境污染比如生产加工、包装、储运、大气沉降等[15]。

表 3 酱油中重金属污染情况

Table 3 Heavy metal pollution situation in soy sauce

类型	重金属	含量/(mg/kg)			样品含量分级/个				
		范围	中位数	平均值	≤检出限	>检出限	>5 倍检出限	>10 倍检出限	>20 倍检出限
预包装	Pb	ND~2.098	0.027	0.109	57	82	37	14	9
	Cr	ND~0.790	0.050	0.075	97	42	3	1	0
	Mn	0.793~14.319	4.995	5.587	0	139	139	136	120
	Ni	ND~2.156	0.659	0.753	24	115	39	3	0
	Cd	ND~0.120	0.009	0.013	8	131	58	16	5
	As	ND~0.117	0.010	0.015	16	123	65	29	10
	Cu	ND~0.533	0.050	0.057	134	5	3	1	0
散装	Pb	0.105~0.812	0.299	0.331	0	41	41	31	12
	Cr	1.016~3.213	1.692	1.784	0	41	41	41	41
	Mn	10.163~27.145	17.625	18.047	0	41	41	41	41
	Ni	2.314~10.153	5.816	5.934	0	41	41	41	37
	Cd	ND	0.002	0.002	41	0	0	0	0
	As	ND	0.002	0.002	41	0	0	0	0
	Cu	ND	0.050	0.050	41	0	0	0	0

注: ND 表示未检出。

41 份散装酱油在重金属污染类型和含量上与 139 份预包装酱油存在一定差异。41 份散装酱油中仅检出 4 类重金属(Mn、Ni、Pb、Cr)且检出率均为 100.00%, As、Cd、Cu 未检出, 说明散装酱油重金属检出类型存在普遍性。其检出重金属平均含量从高到低排列依次为Mn (18.047 mg/kg)>Ni (5.934 mg/kg)>Cr (1.784 mg/kg)>Pb (0.331 mg/kg)。根据 GB 2762—2022, 41 份散装酱油中 Pb 和 As 含量均符合限量要求。与 139 份预包装酱油相比, 散装酱油检出重金属 Mn、Ni、Pb、Cr 的平均含量均高于预包装, 其中 Cr 最为明显, 是预包装酱油平均含量的 23.79 倍。这些差异出现的原因一方面可能与不同的生产工艺有关, 另一方面可能来源于储运过程的差异性, 储藏、运输、售卖等过程更易受到环境污染。

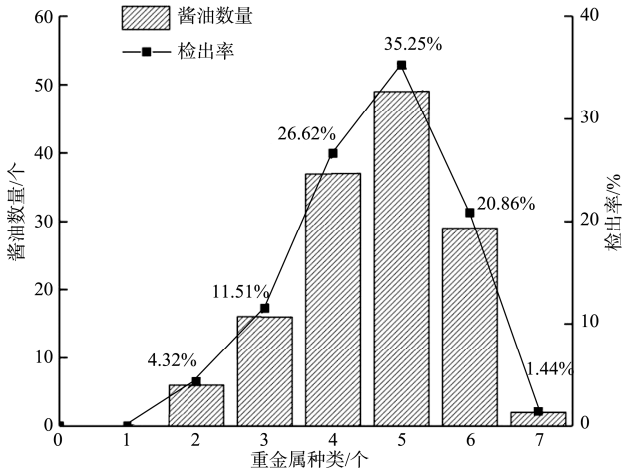

图 1　预包装酱油重金属种类检出情况

Fig.1　Detection situation of heavy metal types in pre-packaged soy sauce

2.2　酱油中 Pb 和 As 污染风险评估

采用 P_i 和 P_N 对 180 份酱油样品中 Pb 和 As 进行风险评估, 结果见表 4。139 份预包装酱油中 Pb 和 As 未达到污染水平的占比分别为 97.84%和 100.00%, 说明绝大多数预包装酱油污染风险低。2.16%的酱油 Pb 处于污染水平, 其中 2 份轻度污染, 1 份中度污染, 该 3 份酱油样品均为 Pb 含量超标样品, 了解该 3 份酱油标签详情及发酵工艺, Pb 污染可能是晒缸过程长时间日晒夜露导致外源污染物进入酱油, 同时个别酱油除采用常规生产原料外添加食用菌类生产。Pb 和 As 的 P_N 值分别为 1.486 和 0.168, Pb 受到轻度污染, As 为安全, 结合检出率(均超过 50.00%), 说明预包装酱油 Pb 和 As 的污染是普遍存在的, 但 As 整体污染水平不高, 在安全范围内。41 份散装酱油中 P_{Pb} 和 P_{As}≤0.7 的数量分别为 39 和 41, 处于优良水平, 其中 1 份酱油 P_{Pb} 位于 0.7 和 1.0 之间, 处于安全水平。41 份散装酱油 Pb 和 As 的 P_N 值均未超过 0.7, 属于安全水平。总体看来, 酱油 Pb 污染情况应引起重视, 在日常监督管理中予以关注。

2.3　酱油重金属膳食风险评估

采用 THQ/TTHQ 对酱油经口摄入重金属进行膳食风险评估, THQ 和 TTHQ 结果见表 5。采集的 139 份预包装酱油中 Pb、Cr、Mn、Ni、Cd、As、Cu 的 THQ 最大值分别为 0.079、0.035、0.013、0.014、0.016、0.052 和 0.002, 41 份散装酱油中 Pb、Cr、Mn、Ni 的 THQ 最大值分别为 0.031、0.141、0.026 和 0.067。其中 1 份预包装酱油 Pb 含量最高达 2.098 mg/kg, 接近标准限量值(1.0 mg/kg)的 2.10 倍, Pb 虽受到污染, 但 Pb 的 THQ 最大值仅为 0.079; 1 份散装酱油 Cr 的 THQ 超过 0.1, 但均远低于单一重金属健康风险阈值 1.0。综合 7 种元素的健康风险来看, 预包装酱油和散装酱油的 TTHQ 最大值分别为 0.139 和 0.208, 均低于多种重金属的健康风险阈值 1.0。这表明正常摄入量下长期食用酱油对人体产生的膳食风险较低, 可接受。酱油作为调味品, 每日的膳食摄入量较少, 重金属通过酱油进入人体的风险亦较低。

对比分析预包装酱油和散装酱油 TTHQ 范围分别为 0.006~0.139 和 0.102~0.208, 98.56%的预包装酱油 TTHQ 值低于散装酱油最小值, 同时, 超过 50.00%的散装酱油 TTHQ 值大于预包装酱油最大值。对比分析 TTHQ 均值, 散装酱油 TTHQ 均值是预包装酱油的 5.69 倍。所有检出重金属中, 除重金属 Pb 外, 散装酱油重金属单项 THQ 最大值均超过预包装酱油对应单项 THQ 最大值。其中散装酱油 Cr 的 THQ 明显高于预包装酱油, 应引起足够重视, 同时关注散装酱油重金属 Cr 的污染源和发展趋势, 科学应对, 保障产业健康发展。综上所述, 购买酱油时建议尽量选择密封包装的预包装产品。

表 4　酱油中 Pb、As 的风险评估

Table 4　Risk assessment of Pb and As in soy sauce

类型	重金属	P_i 分级/个					P_N	污染等级
		P≤0.7	0.7<P≤1.0	1.0<P≤2.0	2.0<P≤3.0	P>3.0		
预包装	Pb	135	1	2	1	0	1.486	轻度污染
	As	139	0	0	0	0	0.168	安全
散装	Pb	39	2	0	0	0	0.620	安全
	As	41	0	0	0	0	0	安全

表 5 酱油中重金属的 THQ/TTHQ
Table 5 THQ/TTHQ of heavy metals in soy sauce

类型	THQ/TTHQ	重金属	范围	均值
预包装	THQ	Pb	0.000~0.079	0.004
		Cr	0.002~0.035	0.003
		Mn	0.001~0.013	0.005
		Ni	0.001~0.014	0.005
		Cd	0.000~0.016	0.002
		As	0.000~0.052	0.007
		Cu	0.000~0.002	0.000
	TTHQ	Pb、Cr、Mn、Ni、Cd、As、Cu	0.006~0.139	0.026
散装	THQ	Pb	0.004~0.031	0.012
		Cr	0.045~0.141	0.078
		Mn	0.010~0.026	0.017
		Ni	0.015~0.067	0.039
		Cd	0.000~0.000	0.000
		As	0.001~0.001	0.001
		Cu	0.000~0.000	0.000
	TTHQ	Pb、Cr、Mn、Ni、Cd、As、Cu	0.102~0.208	0.148

3 结 论

本研究采用 GB 5009.268—2016 中第一法对 2024 年市场上售卖的 180 份酱油样品进行了 Pb、Cd、Cr、As、Mn、Ni、Cu 7 类重金属污染物的检测。结果显示, 180 份酱油均检出不同重金属, 其检出类型存在差异。139 份预包装酱油中, Mn、Ni、Pb 的平均含量超过 0.1 mg/kg, 且有 3 份预包装酱油 Pb 含量超过 GB 2762—2022 限量要求; Cr、As、Cd、Cu 的平均含量低于 0.1 mg/kg。41 份散装酱油仅检出 Mn、Ni、Pb、Cr。180 份酱油中 3 份预包装酱油 Pb 处于污染水平, 其余样品 Pb 和 As 均未达到污染等级。P_N 显示, 预包装酱油 Pb 处于轻度污染, 散装酱油接近警戒线, 说明酱油 Pb 污染在日常监督管理中有待提高关注度。酱油膳食风险评估显示, 所有酱油重金属的 THQ 和 TTHQ 值均小于 1, 表明正常摄入量下长期食用酱油对人体产生的膳食风险是可接受的。

本研究对 2024 年市售 180 份酱油中 7 类重金属污染情况和膳食风险进行分析评估, 可为酱油安全监管和产品质量安全性评价提供理论依据。但仍有不足, 有待进一步研究: (1)散装酱油样品量不足, 仅采集重庆市 7 个区县 41 份散装酱油, 相较于预包装酱油的地域性和数量来看, 样本覆盖不全面; (2)重金属类型未做系统研究, 仅对 7 类重金属开展分析, 缺少其他重金属(如 Hg、Al、Sn 等)的污染调查。同时, 国家应当提高检测水平, 完善酱油中其他重金属的限量要求, 促进调味品产业高质量健康发展, 确保食品安全。

参考文献

[1] 吴权蓉. 妥甸酱油发酵功能菌株筛选、应用及挥发性风味成分形成机理初探[D]. 昆明: 云南农业大学, 2024.
WU QR. Screening of functional strains and preliminary study on flavor formation mechanism of Tuodian soy sauce fermentation [D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2024.

[2] 陈奕敏. 不同大豆原料对高盐稀态酱油风味品质影响的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2023.
CHEN YM. Study on the effect of different soybean raw materials on the flavor quality of high salt dilute soy sauce [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2023.

[3] 张建友, 陈志明, 王芳, 等. 大豆酱油分子质量超滤分级及抗氧化活性研究[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 48–54.
ZHANG JY, CHEN ZM, WANG F, *et al*. Studies on the molecular weight ultrafiltration of soybean soy sauce and its antioxidant activity [J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2019, 19(1): 48–54.

[4] 何伟杰. 酱油活性成分研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(30): 156–158.
HE WJ. Research progress on active components of soy sauce [J]. China Food Safety Magazine, 2022(30): 156–158.

[5] CAO, ZHEN HG, JULIA MB, *et al*. Bioactivity of soy-based fermented foods: A review [J]. Biotechnology Advances: An International Review Journal, 2019, 37(1): 223–238.

[6] KOBAYASHI M. Immunological functions of soy sauce: Hypoallergenicity and antiallergic activity of soy sauce [J]. Journal of Bioscience & Bioengineering, 2005, 100(2): 144–151.

[7] 刘小杰, 何国庆, 陈永富. 强化酱油的研究进展[J]. 粮油加工与食品机械, 2002(5): 34–35.
LIU XJ, HE GQ, CHEN YF. Research progress on fortified soy sauce [J]. Cereals and Oils Processing, 2002(5): 34–35.

[8] 叶心冉. “千禾 0”不等于零添加千禾零添加再惹争议[N]. 经济观察报, 2025-03-24(14).
YE XR. “Qianhe 0” does not mean zero added. Qianhe’s zero added products have once again sparked controversy [N]. The Economic Observer, 2025-03-24(14).

[9] 侯睿. 黑龙江省畜禽肝脏金属微量元素分析及其居民膳食暴露风险评估[D]. 哈尔滨: 黑龙江东方学院, 2022.
HOU R. Analysis of metallic trace elements in liver of livestock and poultry and assessment of dietary exposure risk of residents in Heilongjiang Province [D]. Harbin: East University of Heilongjiang, 2022.

[10] MANDAL BK, SUZUKII KTBK. Arsenic round the world: A review [J]. Talanta, 2002, 58(1): 201–235.

[11] 王欣宏. 螺旋藻酱油发酵工艺研究以及特征性成分检测[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013.
WANG XH. Study on the processing technology of *Spirulina* soy sauce and characteristic component detection [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2013.

[12] 李敏, 连晓文, 姚敬, 等. 电感耦合等离子体-质谱法测定酱油中 12 种金属[J]. 中国食品卫生杂志, 2014, 26(4): 344–347.
LI M, LIAN XW, YAO J, *et al*. Determination method of 12 metals in soy sauce by ICP-MS [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2014, 26(4): 344–347.

[13] 侯美含, 张展开, 张智宏, 等. 猪肉酱油开发及其风味物质分析[J]. 食

品与发酵工业, 2025, 51(19): 366–374.
HOU MH, ZHANG ZK, ZHANG ZH, *et al*. Development of pork soy sauce and identification of its flavor compounds [J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(19): 366–374.

[14] 汪晓冬. 微波消解-电感耦合等离子质谱法对 8 种市售酱油无机元素的分析[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(11): 159–161.
WANG XD. Determination of inorganic elements of 8 soy sauces in Chinese market by ICP-MS with microwave digestion [J]. Food Research and Development, 2010, 31(11): 159–161.

[15] 卢玉曦, 张立红, 唐丽丽, 等. 在线衍生高效液相色谱法测定酱油中 Pb^{2+}和 Ni^{2+}的含量[J]. 分析测试学报, 2017, 36(3): 418–421.
LU YX, ZHANG LH, TANG LL, *et al*. Determination of Pb^{2+} and Ni^{2+} in soy sauce by online derivation with high performance liquid chromatography [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2017, 36(3): 418–421.

[16] 黄飞飞, 王瑛, 张宁. 苏州市地产大米重金属污染状况及人群膳食暴露风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(23): 9039–9045.
HUANG FF, WANG Y, ZHANG N. Heavy metal pollution status of local rice and human dietary exposure risk assessment in Suzhou City [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(23): 9039–9045.

[17] 梁瑞玲, 张威娜, 杨瑞春, 等. 2020 年河南省干制红枣多元素含量调查及膳食暴露风险评估[J]. 河南预防医学杂志, 2022, 33(9): 666–668.
LIANG RL, ZHANG WN, YANG RC, *et al*. Investigation on multi-element content of dried red jujube and assessment on dietary exposure risk in Henan Province in 2020 [J]. Modern Disease Control and Prevention, 2022, 33(9): 666–668.

[18] 黄艳桃, 唐琼, 陈剑锋, 等. 广西某市大米中镉和铅的含量分析及膳食风险评估[J]. 食品工业, 2023, 44(4): 328–333.
HUANG YT, TANG Q, CHEN JF, *et al*. Analysis of cadmium and lead and dietary risk assessment of rice in a city of Guangxi [J]. The Food Industry, 2023, 44(4): 328–333.

[19] 王一鸣, 刘丽萍, 张妮娜, 等. 华北平原某地区农产品重金属含量及膳食摄入风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(6): 66–75
WANG YM, LIU LP, ZHANG NN, *et al*. Risk assessment of heavy metal content and dietary intake of agricultural products in a region of the North China Plain [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(6): 66–75.

[20] 黄韵霖, 谭凯燕, 雷向荣, 等. ICP-MS 法测定姜中铅含量及其污染评价与膳食风险评估[J]. 现代食品, 2023, 29(9): 198–201.
HUANG YL, TAN KY, LEI XR, *et al*. Determination of Pb content in gingers by ICP-MS method and pollution evaluation and dietary risk assessment [J]. Modern Food, 2023, 29(9): 198–201.

[21] 徐迪波, 李秋月, 吴宇啸. 桐乡市居民十年前后含盐调味品摄入变化调查[J]. 中国卫生检验杂志, 2022, 32(17): 2154–2157.
XU DB, LI QY, WU YX. A survey on the changes of salt containing condiments intake in Tongxiang residents before and after ten years [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2022, 32(17): 2154–2157.

[22] 郑钦月, 辜世伟, 胡云均, 等. 烧烤蘸料中重金属污染情况及膳食风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(14): 309–316.
ZHENG QY, GU SW, HU YJ, *et al*. Analysis of heavy metal contamination and dietary risk assessment in barbecue condiment [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(14): 309–316.

[23] 吴昊, 张乐蒙, 黄智伟, 等. 厦门湾常见海洋经济生物重金属污染特征及风险评价[J]. 应用海洋学学报, 2022, 41(3): 395–406.
WU H, ZHANG LM, HUANG ZW, *et al*. Characteristics and risk assessment of heavy metal pollutionof common marine commercial organisms in Xiamen Bay [J]. Journal of Applied Oceanography, 2022, 41(3): 395–406.

[24] 佚名. 中国居民营养与慢性病状况报告(2020 年)[J]. 营养学报, 2020, 42(6): 521.
Anonymous. Report on the nutrition and chronic disease status of Chinese residents (2020) [J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2020, 42(6): 521.

[25] 宫春波, 王朝霞, 孙月琳, 等. 食品安全风险监测数据统计处理常见问题探讨[J]. 中国食品卫生杂志, 2013, 25(6): 575–578.
GONG CB, WANG CX, SUN YL, *et al*. Application of statistic analysis processing on food safety risk surveillance data [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2013, 25(6): 575–578.

[26] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. 中华预防医学杂志, 2002(4): 63–64.
WANG XQ, WU YN, CHEN JS. Low-level data processing issues in food contamination monitoring [J]. Chinese Journal of Preventive Medicine, 2002(4): 63–64.

[27] CHAO D, NI HG, ZENG H. Parent and halogenated polycyclic romatic hydrocarbons in rice and implications for human health in China [J]. Environmental Pollution, 2012, 168: 80–86.

[28] SINHA P, LAMBERT MB, TRUMBULL VL. Evaluation of statisticalmethods for left-censored environmental data with nonuniform detection limits [J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2006, 25(9): 2533–2540.

[29] 张楠. 食品中微量元素的健康风险评价[D]. 保定: 河北大学, 2008.
ZHANG N. Health risk assessment of microelement in food [D]. Baoding: Hebei University, 2008.

[30] 张琨琨, 曹重阳, 孙帅, 等. 微量元素锰对小麦生长发育的影响研究进展[J]. 现代农业科技, 2016(22): 11–12.
ZHANG KK, CAO CY, SUN S, *et al*. Research progress on effect of manganese on wheat growth [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2016(22): 11–12.

(责任编辑: 安香玉　蔡世佳)