西藏 4 地市糌粑中重金属含量分析与污染评价

杨小俊[1,2]，次仁德吉[1,2]，吴雪莲[1,2]，张一帆[1,2]，张唐伟[*1,2]

（1. 西藏自治区农牧科学院 农业质量标准与检测研究所，西藏 拉萨 850032；2. 西藏自治区农畜产品工程技术研究中心，西藏 拉萨 850032）

摘要：通过调查西藏 4 地市（山南市、日喀则市、林芝市、拉萨市）不同磨制方式生产的糌粑中重金属砷（As）、镉（Cd）、铬（Cr）、铅（Pb）、汞（Hg）含量，并开展污染情况全面分析评价，以提高西藏各地市糌粑的质量安全水平，为加强质量安全监管提供可靠的数据支持。从西藏 4 地市分别采集不同模式生产的糌粑样品 101 个，使用电感耦合等离子体质谱法对糌粑样品中 5 种重金属进行检测分析与质量安全评价。101 个糌粑样品中，按照糌粑质量分级标准综合污染指数进行评价，不同磨制方式生产糌粑中应用单因子污染指数、综合污染指数评价结果显示，电磨和水磨糌粑中的重金属 As、Cd、Cr、Pb、Hg 污染等级均属于安全。不同地市生产糌粑中单因子污染指数及综合污染指数评价结果显示，山南市糌粑中的重金属 Pb 污染等级属基本清洁，As、Cd、Cr、Hg 污染等级均属安全；日喀则市糌粑中的重金属 As 污染等级属基本清洁，Cd 、Cr、Pb、Hg 污染等级均属安全；林芝市糌粑中的重金属 Pb 污染等级属基本清洁，As、Cd、Cr、Hg 污染等级均属安全；拉萨市糌粑中的重金属 Pb、As、Cd、Cr、Hg 污染等级均属安全；根据内梅罗（Nemerow）综合污染等级评价 4 地市中的重金属综合污染指数等级均是安全。

关键词：西藏；糌粑；重金属污染；含量分析；污染评价

中图分类号：TS 207.5　**文章编号：**1673-1689(2023)05-0071-07　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.05.010

Analysis of Heavy Metals Content and Pollution Evaluation in Tsamba in Four Cities of Tibet

YANG Xiaojun[1,2]，*Cirendeji*[1,2]，*WU Xuelian*[1,2]，*ZHANG Yifan*[1,2]，*ZHANG Tangwei*[*1,2]

(1. Institute of Agricultural Product Quality Standard and Testing Research, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Lhasa 850032, China; 2.Tibet Engineering Research Center of Agricultural and Livestock Products, Lhasa 850032, China)

Abstract: Through investigating the contents of heavy metals arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr), lead (Pb), and mercury (Hg) in tsamba produced by different grinding methods in four cities in Tibet (Shannan, Shigatse, Nyingchi and Lhasa), and conducting a comprehensive analysis and evaluation of pollution levels, reliable data support could be provided to enhance the quality and safety level of tsampa production and strengthen quality and safety supervision. A total of

收稿日期：2021-11-04

基金项目：西藏自治区财政专项资金项目（XZNKYZBS-2021-C-001-2）；农业质量标准与检测研究所自然基金项目（ZBSZC202102）；财政部和农业农村部现代农业产业技术体系专项资金项目（CARS-05-02A-05）。

作者简介：杨小俊（1992—），男，助理研究员，主要从事农畜产品品质分析研究。E-mail：956892326@qq.com

* **通信作者：**张唐伟（1987—），男，硕士，副研究员，硕士研究生导师，主要从事农畜产品品质分析研究。E-mail：zhangtangwei04@163.com

101 samples of tsamba produced in different modes were collected from four cities in Tibet. And inductively coupled plasma mass spectrometry was utilized to detect and analyze five heavy metals in tsamba samples, and to evaluate their quality and safety. Among 101 tsamba samples evaluated using the comprehensive pollution index of tsamba quality grading standard, both electric mill and water mill methods yielded safe levels of heavy metals including As, Cd, Cr, Pb, and Hg in tsamba, based on the evaluation results of single factor pollution index and comprehensive pollution index in the production of tsamba prepared by different grinding methods. Based on the evaluation results of the single factor pollution index and comprehensive pollution index in the production of tsamba in different cities, it could be concluded that the heavy metal Pb in tsamba in Shannan city is basically clean, and As, Cd, Cr, and Hg are all safe. The heavy metal As in tsamba in Shigatse city is basically clean, and Cd, Cr, Pb, and Hg are all safe. The heavy metal Pb in tsamba in Nyingchi city is basically clean, and As, Cd, Cr, and Hg are all safe. The heavy metals Pb, As, Cd, Cr, and Hg in tsamba in Lhasa city are all safe. According to the Nemerow comprehensive pollution level evaluation, the comprehensive pollution index levels of heavy metals in the four cities are all safe.

Keywords: Tibet, tsamba, heavy metal pollution, content analysis, pollution evaluation

糌粑是藏族人民所喜爱的一种传统主食,其是以青稞(青稞具有调节血糖、降血脂、保护心血管、提高免疫力等生理功能[1-4])为原料,经过除杂、清洗、干燥、油炸、碾磨等工序制成的粉状食品。我国西藏地区人民主要把玉米、大麦等粗粮添加到原料中,与青稞一起制作糌粑[5]。由于全谷物的食品成型困难、抗拉伸性弱、营养品质及黏性低等原因[6-9],根据加工材料的不同,藏区人民把糌粑划分为乃糌(以青稞为材料)、散细(豌豆去皮经炒熟后磨制的糌粑)、毕散(豌豆混合青稞磨制成的糌粑)等[10]。环境中的重金属(如铅、砷、镉、铬、汞等)能够通过食物链的迁移沉积在人体内,造成急性、亚急性、慢性中毒[11]。1979 年,美国环境保护署将重金属及其化合物(包括铅、砷、镉、铬、汞在内的 13 种元素)列入污染物清单,建议重点监测这些可能危害人类健康的污染物[12]。中国也制定了国家污染物控制标准,各种食品中铅、砷、镉、铬、汞等污染物的限量是控制危害的有效指标。

目前,对糌粑营养成分、理化指标、保健功能等的报道较多[13-19],而对糌粑重金属的研究较少。洛桑卓嘎研究了糌粑中总砷含量,结果表明,糌粑中总砷含量的测定结果在国家规定的正常范围内[20]。此外,一些研究表明,糌粑的生产过程也容易导致重金属等指标超标[21],糌粑作为藏区百姓的三餐食品,过去一直保持着家庭生产和销售的模式。为此,作者应用电感耦合等离子体质谱法对糌粑样品中 5 种重金属进行检测分析,采用污染指数评价模型和健康风险评估模型对重金属污染现状进行评价,分析糌粑中重金属对当地居民的潜在健康风险,为糌粑质量安全监管提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

从山南市、日喀则市、林芝市、拉萨市采集电磨和水磨的糌粑样品 101 个,每个样品采样量为 2 kg,其中,按地域计,山南市采样 36 个,日喀则市采样 20 个,林芝市采样 25 个,拉萨市采样 20 个;按磨制方式计,电磨采样 43 个,水磨采样 58 个。

1.2 仪器与试剂

FA2004 电子天平:上海天平仪器厂产品;配备赶酸装置和聚四氟乙烯消解管的微波消解仪:安东帕公司产品;350NX 电感耦合等离子体质谱仪:美国 PerkinElmer 科技有限公司产品;Milli-Q 纯水系统:美国 Millipore 公司产品;硝酸(优级纯):成都市科隆化学品有限公司产品;镉、铬、砷、铅、汞、金标准储备液(1 000 μg/mL):国家有色金属及电子材料分析测试中心产品;ICP-MS 专用内标溶液(Bi、Ge、

In、^{6}Li、Lu、Rh、Sc、Tb,100 mg/L):美国 Agilent 科技有限公司产品。

1.3 样品处理

参照 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》,采用微波消解法消解样品。准确称取 0.200 0 g 糌粑样品,将其置于微波消解管中。添加 6 mL 硝酸并拧紧盖子,浸泡过夜。设置微波消解仪工作参数(见表 1)进行消解。当消化罐温度降至 70 ℃以下时,取出消解管,放入通风柜缓慢泄压。之后打开消解管盖,将消解管放入赶酸装置中,100 ℃继续加热 1 h,取出,冷却至室温,用体积分数 1%硝酸溶液冲洗消解管内侧 2~3 次,将消解液转移至 25 mL 容量瓶中,定容至刻度,充分混匀备用。按同一方法同时做样品空白实验。

表 1 微波消解仪升温程序

Table 1 Heating program of the microwave digestion system

步骤	升温时间/min	消解温度/℃	恒温时间/min	设定功率/W
1	5.00	120	5.00	1 800
2	5.00	160	10.00	1 800
3	5.00	180	15.00	1 800

1.4 标准溶液的配制

分别将 1 000 μg/mL 汞、铅、砷、镉、铬标准储备液用体积分数 1%硝酸溶液逐级稀释成 1 μg/mL 标准储备液。用汞标准储备液配制 0、0.1、0.5、1.0、1.5、2.0 μg/L 系列标准溶液;用铅、砷、镉和铬标准储备液配制 0、1.0、5.0、10.0、30.0、50.0 μg/L 的系列标准混标溶液;内标溶液用体积分数 1%硝酸逐级稀释成 100 μg/L 内标使用液,置于 4 ℃避光冰箱中备用。标准溶液临用前现配。

1.5 检测方法

用调谐液优化 ICP-MS,使其精密度、灵敏度等条件符合测定标准。建立测定方法,设置对应参数,选择待测元素,设置标准曲线条件(线性通过零点),连续使用内标,手动依次将空白试剂、系列标准溶液和样品溶液引入 ICP-MS,得到砷、镉、铬、铅、汞元素对应的标准曲线,得出所测重金属参数的质量浓度。电感耦合等离子体质谱仪的工作参数和待测元素选择的内标元素、检出限、定量限分别见表 2 和表 3。

1.6 评价标准及方法

评价标准严格按照 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》[22]规定的污染物限量标准执行。

单因子污染指数计算方法见公式(1)。

$$I_i=w_i/S_i \quad (1)$$

式中:I_i 为重金属污染物 i 元素的单因子污染指数;

表 2 电感耦合等离子体质谱仪工作参数

Table 2 Working parameters of the inductively coupled plasma mass spectrometer

程序	参数名称	参数	程序	参数名称	参数
1	等离子体功率	1 550 W	9	采样锥/截取锥	镍/铂锥
2	等离子体气流量	15 L/min	10	采样深度	8.2 mm
3	载气流量	1.07 L/min	11	采集模式	跳峰
4	辅助气体流量	1.0 L/min	12	进样冲洗时间	20 s
5	氦气流量	5.0 mL/min	13	扫描次数	30 次
6	雾化室温度	2 ℃	14	重复次数	3 次
7	蠕动泵采集转速	0.1 r/s	15	测定模式	STD/KED
8	蠕动泵快速提升转速	48 r/min	16	蠕动泵快速提升时间	30 s

表 3 待测元素选择的内标元素、检出限、定量限

Table 3 Internal standard elements, detection limit and quantitative limit of the elements to be tested

分析元素	内标元素	线性范围/(μg/L)	线性方程	相关系数	检出限/(mg/L)	定量限/(mg/L)
As	^{115}In	0~50	y=0.005x	0.999 9	0.000 5	0.002 0
Cd	^{115}In	0~50	y=0.011x	0.999 9	0.000 5	0.002 0
Cr	^{72}Ge	0~50	y=0.072x	0.999 8	0.020 0	0.050 0
Pb	^{209}Bi	0~50	y=0.044x	0.999 8	0.005 0	0.020 0
Hg	^{209}Bi	0~2	y=0.015x	0.999 7	0.000 3	0.001 0

w_i 为重金属污染物 i 元素的实测质量分数,mg/kg;S_i 为重金属污染物 i 元素的限量值,mg/kg。

内梅罗(Nemerow)综合污染指数计算方法见公式(2)。

$$I_n=\sqrt{(I_{i,max}^2+I_{i,ave}^2)/2} \quad (2)$$

式中:I_n 为重金属的综合污染指数,$I_{i,ave}$ 为所有污染物单因子污染指数的平均值,$I_{i,max}$ 为所有污染物单因子污染指数中的最大值。

污染物贡献率计算方法见公式(3)。

$$K_i=I_i/I\times100\% \quad (3)$$

式中:K_i 为产品重金属污染物 i 元素所占的贡献率,I 为各重金属污染物单因子污染指数之和。

目前,有研究根据农业行业标准 NY/T 398—2000《农、畜、水产品污染监测技术规范》[23] 制定了农、畜、水产品的质量分级标准,作为产品重金属污染评价的依据。作者通过综合污染指数、单因子污染指数建立质量分级标准,对糌粑中重金属砷、镉、铬、铅、汞污染情况进行评价[24-28],以更合理、准确地反映结果。糌粑质量分级标准具体内容见表 4。

表 4 糌粑质量分级标准

Table 4 Standard for quality classification of tsamba

等级	单因子污染指数	综合污染指数	污染等级
1	$I_i\leqslant0.7$	$I_n\leqslant0.7$	安全
2	$0.7<I_i\leqslant1.0$	$0.7<I_n\leqslant1.0$	基本清洁
3	$1.0<I_i\leqslant2.0$	$1.0<I_n\leqslant2.0$	轻度污染
4	$2.0<I_i\leqslant3.0$	$2.0<I_n\leqslant3.0$	中度污染
5	$I_i>3.0$	$I_n>3.0$	重度污染

1.7 数据处理

采用 Excel 进行数据统计,SPSS 17.0 进行数据方差分析和 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 糌粑中重金属质量分数分析

经测定,得到 4 地市糌粑中 5 种重金属砷、镉、铬、铅、汞的平均质量分数,其平均质量分数均在标准限量之内(见表 5、表 6)。其中,按地市分,山南市糌粑中 5 种重金属根据质量分数大小排序依次为 Pb、Cr、As、Hg、Cd;日喀则市糌粑中 5 种重金属根据质量分数大小排序依次为 As、Cr、Pb、Hg、Cd;林芝市糌粑中 5 种重金属根据质量分数大小排序依次为 As、Pb、Cr、Hg、Cd;拉萨市糌粑中 5 种重金属根据质量分数大小排序依次为 Pb、Cr、As、Hg、Cd。按元素种类分,As 质量分数由高到低的地市排序为日喀则市、林芝市、山南市、拉萨市,且拉萨市与日喀则市之间存在显著差异($P<0.05$);Cd 质量分数由高到低的地市排序为山南市、林芝市、日喀则市(拉萨市);Cr 质量分数由高到低的地市排序为日喀则市、山南市、林芝市、拉萨市,且拉萨市与日喀则市之间存在显著差异($P<0.05$);Pb 质量分数由高到低的地市排序为林芝市、山南市、日喀则市、拉萨市;Hg 质量分数由高到低的地市排序为日喀则市、林芝市、拉萨市、山南市(日喀则市与林芝市 Hg 质量分数几乎相等),且山南市与其他 3 地市之间存在显著差异($P<0.05$)。按磨制方式分,电磨方式生产的糌粑中 As、Cd、Cr 质量分数高于水磨方式,其中水磨方式生产的糌粑中 Cd 未检出;水磨方式生产的糌粑中 Pb 质量分数高于电磨方式。

2.2 糌粑中重金属污染情况统计分析

不同地市生产的糌粑中重金属单因子污染指数及综合污染指数评价结果显示(见表 7),应用单因子污染指数进行污染等级评价,山南市糌粑中的重金属 Pb 污染等级属基本清洁,As、Cd、Cr、Hg 污染等级均属安全;日喀则市糌粑中的重金属 As 污

表 5 不同地市的糌粑中重金属元素质量分数

Table 5 Contents of heavy metals in tsamba in different cities

单位:mg/kg

地市	As	Cd	Cr	Pb	Hg
山南市	0.025 4±0.003 7^{ab}	0.004 2	0.134 0±0.041 3^{ab}	0.149 0±0.040 4	0.007 3±0.000 1^{b}
日喀则市	0.395 2±0.006 5^{a}	—	0.175 8±0.017 8^{a}	0.119 8±0.025 6	0.008 0±0.000 1^{a}
林芝市	0.341 6±0.005 6^{ab}	0.000 9	0.089 2±0.009 4^{ab}	0.159 8±0.077 8	0.008 0±0^{a}
拉萨市	0.020 6±0.003 4^{b}	—	0.075 1±0.014 4^{b}	0.105 4±0.024 9	0.007 9±0.000 2^{a}

注:不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同小写字母表示差异不显著($P>0.05$);砷、镉、铬、铅、汞的标准限量分别为 0.50、0.10、1.00、0.20、0.02 mg/kg。

表6 不同磨制方式生产的糌粑中重金属元素质量分数

Table 6 Contents of heavy metals in tsamba prepared with different grinding methods 单位:mg/kg

磨制方式	As	Cd	Cr	Pb	Hg
水磨	0.024 8±0.003 5	—	0.097 4±0.009 2	0.087 0±0.016 2	0.007 9±0.000 1
电磨	0.034 5±0.036 0	0.002 6±0.001 6	0.149 3±0.034 7	0.0207 1±0.055 5	0.007 6±0.000 1

染等级属基本清洁,Cd、Cr、Pb、Hg污染等级均属安全;林芝市糌粑中的重金属Pb污染等级属基本清洁,As、Cd、Cr、Hg污染等级均属安全;拉萨市糌粑中的重金属Pb、As、Cd、Cr、Hg污染等级均属安全;根据Nemerow综合污染等级评价4地市中的重金属综合污染指数等级均是安全。山南市糌粑中重金属污染物贡献率 $K_{Pb}>K_{Hg}>K_{Cr}>K_{As}>K_{Cd}$;日喀则市糌粑中重金属污染物贡献率 $K_{As}>K_{Pb}>K_{Hg}>K_{Cr}>K_{Cd}$;林芝市糌粑中重金属污染物贡献率 $K_{Pb}>K_{As}>K_{Hg}>K_{Cr}>K_{Cd}$;拉萨市糌粑中重金属污染物贡献率 $K_{Pb}>K_{Hg}>K_{Cr}>K_{As}>K_{Cd}$。

表7 不同地市的糌粑中重金属污染指数及污染物贡献率情况

Table 7 Heavy metal pollution index and contribution rate of tsamba in different cities

地市	单因子污染指数					综合污染指数	污染物贡献率/%				
	I_{As}	I_{Cd}	I_{Cr}	I_{Pb}	I_{Hg}	I_n	K_{As}	K_{Cd}	K_{Cr}	K_{Pb}	K_{Hg}
山南市	0.050 8	0.042 0	0.134 0	0.745 0	0.365 0	0.559 6	3.800 1	3.141 8	10.023 9	55.730 1	27.304 1
日喀则市	0.790 4	0	0.175 8	0.599 0	0.400 0	0.624 1	40.219 8	0	8.945 7	30.480 3	20.354 2
林芝市	0.683 2	0.009 0	0.089 2	0.799 0	0.400 0	0.630 5	34.498 1	0.454 4	4.504 1	40.345 4	20.198 0
拉萨市	0.014 2	0	0.075 1	0.527 0	0.395 0	0.399 1	3.968 0	0	7.233 0	50.756 0	38.043 0

由表8可知,不同磨制方式生产的糌粑中重金属单因子污染指数、综合污染指数评价结果显示,电磨和水磨糌粑中的重金属As、Cd、Cr、Pb、Hg污染等级均属于安全;按磨制方式(水磨、电磨)分,糌粑中重金属的污染贡献率:电磨 $K_{Hg}>K_{Cr}>K_{Pb}>K_{As}>K_{Cd}$;水磨 $K_{Pb}>K_{Hg}>K_{Cr}>K_{As}>K_{Cd}$。

表8 不同磨制方式糌粑中重金属污染指数及污染物贡献率情况

Table 8 Pollution index and contribution rate of heavy metals in tsamba prepared with different grinding methods

磨制方式	单因子污染指数					综合污染指数	污染物贡献率/%				
	I_{As}	I_{Cd}	I_{Cr}	I_{Pb}	I_{Hg}	I_n	K_{As}	K_{Cd}	K_{Cr}	K_{Pb}	K_{Hg}
电磨	0.069 0	0.026 0	0.149 3	0.103 6	0.380 0	0.287 7	9.479 4	3.571 9	20.511 0	14.232 7	52.205 0
水磨	0.049 6	0	0.097 4	0.435 0	0.395 0	0.337 2	5.102 8	0	10.020 6	44.753 0	40.637 8

2.3 糌粑中重金属质量分数单因素方差分析和相关性分析

对西藏4地市(山南市、日喀则市、林芝市和拉萨市)糌粑中检出的重金属As、Cd、Cr、Pb、Hg的样品进行单因素方差分析,结果显示(见表9),不同地市生产的糌粑中检出的重金属中Hg质量分数存在极显著差异,其余重金属质量分数差异均不显著。

2.4 讨论

为了解西藏4地市糌粑生产中重金属污染物的污染情况,在西藏4地市对两种不同研磨方法生产的糌粑进行了调查和取样,通过对糌粑中重金属的分析测定,研究了糌粑重金属污染物的污染特征、累积规律及相关性。

西藏4地市5种重金属砷(As)、镉(Cd)、铬(Cr)、铅(Pb)、汞(Hg)的平均质量分数均在标准限量之内。其中砷质量分数日喀则市最高为(0.395 2±0.006 5) mg/kg,拉萨市最低为(0.020 6±0.003 4) mg/kg,且拉萨市与日喀则市之间存在显著差异($P<0.05$);镉质量分数山南市最高为0.004 2 mg/kg;铬质量分数日喀则市最高为(0.175 8±0.017 8) mg/kg,拉萨市最低为(0.075 1±0.014 4) mg/kg,且拉萨市与日喀则市之间存在显著差异($P<0.05$);铅质量分数林芝市最高为(0.159 8±0.077 8) mg/kg,拉萨市最低为(0.105 4±0.024 9) mg/kg;汞质量分数日喀则市最高为(0.008 0±0.000 1) mg/kg,山南市最低为(0.007 3±0.000 1) mg/kg,且山南与其他地市之间存在显著差异($P<0.05$)。不同地市生产的糌粑中检出的重金属质量分数除Hg差异极显著外,其余均不显著。糌粑

表 9　不同地市糌粑中重金属质量分数单因素方差分析和相关性分析

Table 9　Single factor analysis of variance and correlation analysis of heavy metal content in tsamba in different cities

重金属种类	源	Ⅲ型平方和	df	均方	*F*	*P*
As	组间	0.003	3	0	2.676	0.055
	组内	0.025	61	0		
	总数	0.028	64			
Cd	组间	0	1	0		
	组内	0	0	0		
	总数	0	1			
Cr	组间	0.133	3	0.044	1.794	0.153
	组内	2.404	97	0.025		
	总数	2.537	100			
Pb	组间	0.018	3	0.006	0.143	0.933
	组内	1.904	46	0.041		
	总数	1.922	49			
Hg	组间	0	3	0	6.116	0.001
	组内	0	97	0		
	总数	0	100			

注：$P<0.01$ 差异极显著。

是以青稞为原料磨制而成，因此糌粑中的重金属可能源自青稞本身。有研究发现，不合格化肥和生产的农药大大增加了土壤中重金属污染的可能性。如果土壤中的重金属含量比较高，那么生长在其中的农作物就极有可能过量累积，造成作物重金属含量超标[29]。

按照糌粑质量分级标准进行评价，不同磨制方式生产糌粑中重金属单因子污染指数、综合污染指数评价结果显示，电磨和水磨糌粑中的重金属 As、Cd、Cr、Pb、Hg 污染等级均属于安全。不同地市生产糌粑中单因子污染指数及综合污染指数评价结果显示，山南市糌粑中的重金属 Pb、日喀则市糌粑中的重金属 As、林芝市糌粑中的重金属 Pb 污染等级属基本清洁，其余重金属在各地市的污染等级均属安全，且根据 Nemerow 综合污染等级评价 4 地市中的重金属综合污染指数等级均是安全。

人们在生产和生活当中难免会使用到石油和煤炭等燃料，这将造成大量的污染物排放到自然环境中，随着降雨、空气循环和降雪等情况的发生，重金属将流入土壤，经过长时间的累积，土壤中所含的重金属会越来越多，最终将造成土壤中重金属污染。此外，如果土壤的母岩中所含的重金属较高，那么土壤中的重金属含量也会偏高。重金属在自然环境中不仅不可生物降解，而且还会不断积累，能够通过水流和化学作用迁移或转化，造成临近区域的污染，最终，受污染的植物会通过食物链危害人类健康[30-31]。糌粑中重金属的污染有可能来源于青稞原料中，也可能产生于糌粑加工、运输、贮藏等环节。

3　结　语

通过调查西藏 4 地市（山南市、日喀则市、林芝市和拉萨市）中糌粑重金属污染状况，并根据 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》[22]中的糌粑重金属限量值，高度结合现行的农业行业标准 NY/T 398—2000《农、畜、水产品污染监测技术规范》[23]对抽样地市糌粑的安全风险进行评估与分析。结果显示，山南市糌粑中的重金属 Pb 污染等级属基本清洁，As、Cd、Cr、Hg 污染等级均属安全；日喀则市糌粑中的重金属 As 污染等级属基本清洁，Cd、Cr、Pb、Hg 污染等级均属安全；林芝市糌粑中的重金属 Pb 污染等级属基本清洁，As、Cd、Cr、Hg 污染等级均属安全；拉萨市糌粑中的重金属 Pb、As、Cd、Cr、Hg 污染等级均属安全；根据 Nemerow 综合污染等级评价 4 地市中的重金属综合污染指数等级均是安全。针对西藏 4 地市糌粑中的重金属存在的问题，应重视糌粑的生产原料、生产工艺、储存

和流通,并采取相应措施加以控制。通过各项措施的落实,改善生产环境,加强生产人员的标准化操作,以提高西藏糌粑的质量安全水平。

参考文献:

[1] 冯格格,佘永新,洪思慧,等. 青稞中主要功效成分最新研究进展[J]. 农产品质量与安全,2020(2):82-89.
[2] 包雪梅,谢惠春. 青稞主要成分及其应用的研究进展[J]. 现代食品,2019(2):43-47.
[3] JINJIN P,FENG Z,REN T,et al. Selectively screen the antibacterial peptide from the hydrolysates of highland barley[J]. **Engineering in Life Sciences**,2018,18(1):48-54.
[4] YING B S,ZHANG H,CHENG L,et al. *In vitro* and *in vivo* antioxidant activity of polyphenols extracted from black highland barley[J]. **Food Chemistry**,2016(3):1003-1012.
[5] 王猛,仪德刚. 蒙古族糌粑传统制作技艺调查[J]. 云南农业大学学报(社会科学版),2016,10(5):111-114.
[6] HEINIO R L,NOORT M W J, KATINA K,et al. Sensory characteristics of wholegrain and bran-rich cereal foods:a review[J]. **Trends in Food Science & Technology**,2016(7):25-38.
[7] LI J,GARY G H,ZHENG X C,et al. Studying the effects of whole-wheat flour on the rheological properties and the quality attributes of whole-wheat saltine cracker using SRC,alveograph,rheometer,and NMR technique[J]. **LWT-Food Science and Technology**,2014,55(1):43-50.
[8] AYLIN A. Effects of pretreatments and moisture content on microstructure and physical properties of microwave expanded hull-less barley[J]. **Food Research International**,2014,56(2):126-135.
[9] MARCIN M,AGNIESZKA W,ONISZCZUK T,et al. Effect of processing conditions on microstructure and pasting properties of extrusion-cooked starches[J]. **International Journal of Food Engineering**,2017,13(6):31-42.
[10] 贡保草. 试析藏族糌粑食俗及其文化内涵[J]. 青海民族学院学报,2003,29(1):61-65.
[11] 陶亮,张乃明. 云南部分地区农产品重金属污染现状与分析[J]. 中国农学通报,2017,33(20):83-89.
[12] KEITH L H,TELLIARD W A. Priority pollutants I:a perspective view[J]. **Environmental Science and Technology**,1979,13(4):416-423.
[13] 何峰,卫郑霞. 糌粑中营养成分的测定[J]. 现代食品,2016(3):106-109.
[14] 吴雪莲,王文华. FAAS法和ICP-OES法测定西藏6种糌粑中微量元素的比较[J]. 现代农业科技,2016(16):239-240.
[15] 何伟. 青稞全粉营养成分分析及青稞脆片制备工艺优化[J]. 食品与机械,2020,36(7):201-205.
[16] 张垚. 青稞糌粑粉特征香气成分鉴别及产生机制初探[D]. 西宁:青海大学,2020.
[17] 次顿,达珍,白玛玉珍,等. 西藏糌粑主要理化指标及质量现状研究[J]. 西藏科技,2011(3):18-21.
[18] 赵雯玮,刘吉爱,李姣,等. 糌粑及其研究进展[J]. 粮食与饲料工业,2017(3):29-32.
[19] DERMIENCE M,LI X W,MATHIEU F,et al. Minerals and trace elements in traditional foods of rural areas of Lhasa Prefecture,Tibet Autonomous Region(P.R. China)[J]. **Journal of Food Composition and Analysis**,2014,35(2):67-74.
[20] 洛桑卓嘎. 原子荧光光谱仪测定牛肉干和糌粑中总砷含量结果分析[J]. 西藏医药,2020,41(6):135-136.
[21] 谭大明,吴雪莲,邱城,等. 西藏自治区酥油、糌粑、青稞酒、风干牛肉质量安全调研[J]. 现代农业科技,2011(2):368-369.
[22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.
[23] 中华人民共和国农业部. 农、畜、水产品污染监测技术规范:NY/T 398—2000[S]. 北京:中国标准出版社,2000.
[24] 沈体忠. 天门市绿色食品大米重金属污染现状与潜在健康风险评估[J]. 湖北植保,2013(6):53-57.
[25] 邱城,刘青海,张飞龙,等. 拉萨地区酸奶质量安全的污染因素评价与分析[J]. 华南农业大学学报,2020,41(5):115-123.
[26] 张冲. 东莞蔬菜产区重金属污染调查评价及与土壤环境因子相关性分析[D]. 武汉:华中农业大学,2008.
[27] 谢沂希,谢尚春,刘慧,等. 双孢蘑菇菌渣还田下水稻土Cu、Cd、Pb、Zn相关性分析及污染评价[J]. 农业资源与环境学报,2018,35(6):518-526.
[28] 杨昱,秦樊鑫. 贵阳市鱼腥草种植区土壤重金属含量的研究及污染评价[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2013,31(6):81-84.
[29] 张玉龙. 土壤重金属污染对青稞和油菜等农作物的影响及应对措施[J]. 农业科技与信息,2016(2):99-100.
[30] 罗玉虎. 西藏主要水系重金属污染研究[J]. 科技创新与应用,2018(23):76-78.
[31] 王小琨. 浅析土壤重金属污染及其防治措施[J]. 资源节约与环保,2021(9):36-37.