西藏不同地区畜产品中矿质元素的含量测定及比较分析

杨小俊*

(西藏自治区农牧科学院农业质量标准与检测研究所, 拉萨 850032)

摘 要: 目的 分析西藏不同地区畜产品中矿质元素的富集规律。**方法** 本研究以西藏 4 个地市(拉萨、林芝、日喀则、山南)162 份畜产品为研究对象。采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法(inductively-coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)测定西藏 4 地市畜产品中的 Na、Mg、K、Ca、Mn、Fe、Sr、Cu、Zn、Se、Cd、Pb、Cr、As、Hg 15 种矿质元素含量。分析不同地区畜产品中矿质元素含量的差异性。**结果** 各元素均呈良好的线性关系, 相关系数在 0.9968~0.9999, 畜产品中 15 种矿质元素检测方法的检出限为 0.0047~0.5871 ng/mL。畜产品中矿质元素的含量为 K、Na、Mg 较高, Ca、Zn、Fe、Cu 次之, 具有潜在生理毒性的重金属 Cd、Pb、Cr、As、Hg 含量较低。林芝和山南的畜产品中均未检出 Cd; 日喀则的畜产品中均未检出总 As; 拉萨和日喀则畜产品中 Cd、总 Hg 均超标。矿物质中含量最高的常量元素是 K, 含量最高的微量元素是 Fe。**结论** 西藏不同地区畜产品中矿质元素含量存在一定差异性。

关键词: 畜产品; 电感耦合等离子体质谱法; 矿质元素; 含量测定; 比较分析

Determination and comparative analysis of mineral elements in animal products in different areas of Tibet

YANG Xiao-Jun*

(*Institute of Agricultural Quality Standards and Testing*, *Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry*, *Lhasa* 850032, *China*)

ABSTRACT: Objective To analyze the enrichment of mineral elements in animal products in different areas of Tibet. **Methods** In this study, 162 animal products from 4 cities in Tibet (Lhasa, Linzhi, Rikaze and Shannan) were selected as the research objects. The content of 15 kinds of mineral elements (Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Sr, Cu, Zn, Se, Cd, Pb, Cr, As, and Hg) in animal products from 4 cities in Tibet were determined by microwave digestion inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). The content of heavy metal elements were determined and analyzed, and the differences of mineral elements in animal products from different regions were analyzed. **Results** All the elements had a good linear relationship, the correlation coefficients were 0.9968–0.9999. The limits of detection of 15 kinds of mineral elements in animal products were 0.0047–0.5871 ng/mL. The content of K, Na and Mg in animal products from different areas were higher than those of Ca, Zn, Fe and Cu, and the content of Cd, Pb,

基金项目: 2021 年财政本级农口部门预算项目(XZNKYZBS-2021-C-001)

Fund: Supported by the Budget Items of Agricultural Export Departments at the Financial Level in 2021 (XZNKYZBS-2021-C-001)

***通信作者:** 杨小俊, 研究实习员, 主要研究方向为农畜产品品质检测。E-mail: 956892326@qq.com

***Corresponding author:** YANG Xiao-Jun, Research Intern, Institute of Agricultural Quality Standards and Testing, Tibet Academy of Agriculture and Animal Husbandry, Lhasa 850032, China. E-mail: 956892326@qq.com

Cr, as and Hg with potential physiological toxicity were lower. According to the detection results of heavy metal elements in animal products of 4 cities, Cd was not detected in animal products of Linzhi and Shannan. Total As was not detected in animal products of Shigatse. Cd and total Hg in animal products of Lhasa and Shigatse exceeded the standard. According to the detection of mineral element content, the highest content of major element was K, which was significantly higher than other mineral elements, and the highest content of trace element was Fe. **Conclusion** There are some differences in the content of mineral elements in animal products in different regions of Tibe.

KEY WORDS: animal products; inductively coupled plasma-mass spectrometry; mineral elements; content determination; comparative analysis

0 引 言

食品中的矿质元素含量一直是人们关注的焦点[1]。随着人民生活水平的提高和现代营养学的发展，人们对食品的要求也由原来单纯强调色、香、味、形发展到要求食品的营养平衡，且要具备一定的保健功能等。畜牧业是西藏各族农牧民群众赖以生存和发展的基础性支撑产业，是农牧民收入的主要来源，畜产品也是农牧民的主要食物之一。矿物元素是畜产品营养中的一大类无机营养素。当人体内 Na、K、Mg、Ca、Fe、Cu、Zn、Mn 等元素含量过低或过高都会对人的身体健康造成极其严重的影响[2−3]。研究显示 K、Ca 和 Na 在体内维持细胞的内外渗透平衡以及神经细胞膜的生物兴奋性等方面具有重要作用[4]；Mg 是多种酶的辅基和激活剂，在核酸与蛋白合成中发挥重要作用[5]。有文献显示 Fe 参与血红蛋白的合成，具有良好的补血功能[6−7]；钙可以通过一类钙依赖蛋白酶而发挥对肉的嫩化作用，从而影响肉的嫩度。Zn 对增加人体的免疫功能必不可少，同时可对血压进行调节[8−9]。硒参与谷胱甘肽过氧化物酶的合成，是谷胱甘肽过氧化物酶的必要组成部分，在清除脂质过氧化物中，硒与过氧化氢酶和超氧化物歧化酶具有协同作用，因而能提高牛肉品质。Mn 可减少血管内血栓的形成，降低动脉硬化的危险[10]。钾在人体内的主要作用是维持酸碱平衡，参与能量代谢以及维持神经肌肉的正常功能。临床医学资料还证明，中暑者均有血钾降低现象。因此测定畜产品中矿质元素的含量，对畜产品品质及食品加工等都具有重要的意义。

电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)具有高灵敏度、线性范围广、多元素同时分析，以及谱线简单、干扰少等诸多优点，在食品安全(海产品、果蔬产品、粮油产品、食品添加剂、食品包装接触材料)、环境保护、地质矿产、金属合金等领域应用广泛。其中，地质样品的分析应用最早也最为广泛，并且始终是一个重要领域。同时，其在肉品中矿质元素含量的分析领域的应用也越来越受关注，但目前此领域的研究仍有很大的空间。本研究从西藏 4 地市拉萨、林芝、日喀则、山南采集畜产品牛肉、鸡肉、羊肉、猪肉样品 162 份为研究对象，对其肉样的 15 种矿质元素进行比较分析，回应百姓对畜产品营养和健康效应的关切，提升百姓消费信心。结合微波消解方式，采用 ICP-MS 对西藏 4 地市畜产品样品中的 Na、Mg、K、Ca、Mn、Fe、Sr、Cu、Zn、Se、Cd、Pb、Cr、As、Hg 15 种矿质元素含量进行测定。建立准确可靠的畜产品中矿质元素测定方法对其所含矿质元素进行分析，以期能够为生产、加工等行业提供科学依据和理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用畜产品为西藏 4 个地市(拉萨、林芝、日喀则、山南)采集，总共 162 份，如表 1。采集的鸡肉、猪肉、羊肉、牛肉样品放于冷藏箱(0~4 ℃)内带回实验室，于-20 ℃保存待测。

表 1 畜产品抽样表
Table 1 Table of livestock products

种类	样品数	拉萨	山南	日喀则	林芝
猪肉	52	12	12	12	16
牛肉	35	12	6	15	2
羊肉	35	10	11	7	7
鸡肉	40	7	9	11	13
合计	162	41	38	45	38

1.2　试　剂

Na、Mg、K、Ca、Mn、Fe、Sr、Cu、Zn、Se、Cd、Pb、Cr、As、Hg 的标准溶液(1000 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心), 使用时按需稀释; 硝酸(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 实验用水为去离子水; 氩气(纯度≥99.999%, 成都龙泰工业气体有限公司)。

1.3　仪器与设备

Multiwave 7000 微波消解仪(配赶酸装置、聚四氟乙烯消解罐, 奥地利安东帕公司); 350NX 型三重四极杆电感耦合等离子体质谱仪(美国 PerkinElmer 科技有限公司)、AB204 型电子天平(精密度, 万分之一, 瑞士 Mettler 公司); Milli-Q 纯水系统(美国 Millipore 公司)。

1.4　实验方法

1.4.1　样品前处理

元素的测定参考 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》。准确称取粉碎的畜产品样品 0.1~0.5 g 于微波消解罐中, 加入 7 mL 硝酸, 盖好盖子浸泡过夜进行样品预消解。之后将样品放入微波消解仪内进行微波消解, 消解结束后, 取出微波消解罐, 置于赶酸板上 150 ℃赶酸至溶液剩余约 1 mL, 冷却, 用 1%硝酸转移消化液并定容至 50 mL, 混匀待测。同时做空白实验。微波消解升温程序见表 2。

表 2　微波消解仪升温程序
Table 2　Heating program of microwave digestion instrument

步骤	升温时间/min	消解温度/℃	恒温时间/min	设定功率/W
1	7.50	120	5.00	1800
2	7.50	150	10.00	1800
3	7.50	190	20.00	1800

1.4.2　样品测定方法与条件的确定

试样消解液的测定: 编辑测定方法(定量分析方法)、选择标准模式(select standard mode, STD)和碰撞模式(collision mode, KED)测定元素, 进样模式: 手动进样, 用 PE 调谐溶液(货号: N8145051)调谐 ICP-MS 仪器各项指标, 使仪器各项指标达到测定要求, 仪器性能达到最佳分析状态, ICP-MS 仪器工作参数详见表 3。

1.4.3　标准曲线

将 1000 mg/L 元素标准储备液, 用 1%硝酸溶液逐级稀释, 配置不同系列浓度混合标准使用液。见表 4。

表 3　电感耦合等离子体质谱仪工作参数
Table 3　Parameters of inductively coupled plasma mass spectrometer

程序	名称	参数
1	频射功率/W	1550
2	等离子体气流量/(L/min)	15
3	载气流量/(L/min)	1.0
4	雾化室温度/℃	2
5	测定模式	KED/STD
6	样品提升速率/(r/s)	0.3
7	采样锥/截取锥	镍/铂锥
8	采样深度/mm	9.0
9	采集模式	跳峰
10	进样冲洗时间/s	20
11	扫描次数/次	30
12	重复次数/次	3
13	蠕动泵提升转速/(r/min)	48
14	蠕动泵提升时间/s	30

表 4　混合标准曲线不同系列浓度(mg/L)
Table 4　Concentration of different series mixed standard curve (mg/L)

元素	系列 1	系列 2	系列 3	系列 4	系列 5	系列 6
K	0	20	40	60	80	100
Na	0	1	2	3	4	5
Ca	0	1	2	3	4	5
Pb	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
Cr	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
Mg	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
Zn	0	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
Fe	0	0.002	0.004	0.006	0.008	0.01
As	0	0.002	0.004	0.006	0.008	0.01
Se	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Cd	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Mn	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Cu	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Sr	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Hg	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005

1.4.4 数据处理和统计分析

利用EXCEL进行数据统计, 应用SPSS进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 线性关系

线性通过零点, 以质量浓度为横坐标, 净强度(每秒计数)为纵坐标, 得到对应的元素工作曲线见表 5。15 种元素在对应的线性范围内均程良好的线性关系, 各元素方程式相关系数 r 值为 0.9968~0.9999, 检出限为 0.0047~0.5871 ng/mL。

2.2 准确度与精密度

按照研究方法对标准物质鸡肉(GBW10018、GSB-9)做 6 次平行测定, 并对标准物质的检测结果(n=6)计算相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。由表 6 可以看出, 15 种待测元素的测定结果均在参考值范围内, RSD 在 0.7%~16.2%之间, 结果表明此方法准确度好、精密度高, 适合本实验样品的测定分析。

表 5 元素方程和相关系数

Table 5 Element equations and correlation coefficients

元素	方程式	相关系数 r	检出限/(ng/mL)	背景等效浓度/(ng/mL)
K	Y=0.010X+0.000	0.9968	0.0638	0.3812
Na	Y=0.061X+0.000	0.9996	0.0047	0.0172
Ca	Y=0.007X+0.000	0.9998	0.0370	0.0186
Pb	Y=0.041X+0.00	0.9999	0.0471	0.2086
Cr	Y=0.001X+0.000	0.9998	0.0280	0.4858
Mg	Y=0.073X+0.000	0.9988	0.5871	13.3410
Zn	Y=0.001X+0.000	0.9997	0.1753	0.1992
Fe	Y=0.009X+0.000	0.9992	0.0103	0.0700
As	Y=0.019X+0.000	0.9998	0.0334	0.2782
Se	Y=0.002X+0.000	0.9985	0.5234	0.0739
Cd	Y=0.011X+0.000	0.9999	0.0206	0.0942
Mn	Y=0.167X+0.000	0.9995	0.0143	0.5385
Cu	Y=0.001X+0.000	0.9997	0.1040	0.3856
Sr	Y=0.192X+0.000	0.9999	0.0067	0.1047
Hg	Y=0.015X+0.000	0.9997	0.0094	0.0612

表 6 标准物质分析结果(n=6)

Table 6 Results of certified reference materials analysis (n=6)

元素	鸡肉(GBW10018)		RSD/%
	标准值(平均值±U)	测量值(平均值±SD)	
K	1460±70	1459±74	5.1
Na	1440±9	14.42±14	1.0
Ca	220±2	221±3.03	1.3
Pb	0.11±0.02	0.11±0.02	14.5
Cr	0.59±0.11	0.59±0.09	14.5
Mg	1280±10	1281±9	0.7
Zn	26±1	25.50±1.87	7.3
Fe	31±3	29.83±2.48	8.3
As	0.109±0.013	0.11±0.02	14.4
Se	0.49±0.06	0.47±0.08	16.2
Cd	(0.005)	0.005±0.0001	2.9
Mn	1.65±0.07	1.63±0.12	7.4
Cu	1.46±0.12	1.47±0.15	10
Sr	0.64±0.08	0.64±0.07	11.2
Hg	0.0036±0.0015	0.0044±0.0005	11.9

表 6(续)

注: 数值单位 mg/kg, U: 不确定度, SD: 标准偏差, 括号内的数值为参考值。

2.3　重金属元素分析

2.3.1　162 份畜产品重金属含量测定情况统计表

参考 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》, 肉类重金属镉的限量值为 0.10 mg/kg, 铅的限量值为 0.20 mg/kg, 总砷的限量值为 0.50 mg/kg, 汞总的限量值为 0.05 mg/kg, 铬的限量值为 1.00 mg/kg。

从表 7 中可知, 4 地市 162 份畜产品样品, 重金属镉、铅、总汞、总砷、铬的合格率分别 90.2%、81.5%、88.3%、98.8%、91.4%, 检出率分别为 16.6%、55.6%、19.1%、22.8%、86.4%, 超标率分别为 9.8%、18.5%、11.7%、1.2%、8.6%。其中猪肉、牛肉、羊肉、鸡肉重金属镉合格率 90.4%、88.6%、91.4%、90.0%; 猪肉、牛肉、羊肉、鸡肉重金属铅合格率84.6%、74.3%、85.7%、80.0%; 猪肉、牛肉、羊肉、鸡肉重金属汞合格率86.5%、82.9%、88.6%、95.0%; 猪肉、牛肉、羊肉、鸡肉重金属砷合格率 98.1%、97.4%、100.0%、100.0%; 猪肉、牛肉、羊肉、鸡肉重金属铬合格率 88.5%、97.2%、94.3%、87.5%。

2.3.2　不同地区鸡肉中重金属元素含量分析

从表 8 可知, 西藏不同地区的鸡肉中的重金属元素中, 林芝 Cd, 日喀则 As, 山南 Cd、Hg 均未检出。拉萨 Cd、Hg、Pb, 林芝 Hg、Pb, 日喀则 Cr、Cd、Hg、Pb 含量超过国家标准。拉萨 Cr、As, 林芝 Cr、As, 山南 Cr、As、Pb 含量均符合国家标准。

2.3.3　不同地区羊肉中重金属元素含量分析

从表 9 可知, 西藏不同地区的羊肉中的重金属元素中, 拉萨和日喀则 As, 林芝和山南 Cd 均未检出。拉萨 Cd、Hg, 林芝 Hg、Pb, 日喀则 Cr、Cd、Hg、Pb, 山南 Hg 含量超过国家标准。拉萨 Cr、Pb, 林芝 Cr、As, 山南 Cr、As、Pb 含量均符合国家标准。

表 7　162 份畜产品重金属含量检测情况统计表

Table 7　Statistical table for detection of heavy metals in 162 animal products

元素	肉种类	样品数	检出个数	检出率/%	样品值超标个数	超标率/%	合格率/%
	猪肉	52	8	15.4	5	9.6	90.4
	牛肉	35	7	20.0	4	11.4	88.6
Cd	羊肉	35	7	20.0	3	8.6	91.4
	鸡肉	40	5	12.5	4	10.0	90.0
	合计	162	27	16.6	16	9.8	90.2
	猪肉	52	28	53.8	8	15.4	84.6
	牛肉	35	23	65.7	9	25.7	74.3
Pb	羊肉	35	22	62.9	5	14.3	85.7
	鸡肉	40	17	42.5	8	20.0	80.0
	合计	162	90	55.6	30	18.5	81.5
	猪肉	52	15	28.8	7	13.5	86.5
	牛肉	35	7	20.0	6	17.1	82.9
Hg	羊肉	35	6	17.1	4	11.4	88.6
	鸡肉	40	3	7.5	2	5.0	95.0
	合计	162	31	19.1	19	11.7	88.3
	猪肉	52	12	23.1	1	1.9	98.1
	牛肉	35	7	20.0	1	2.8	97.2
As	羊肉	35	11	31.4	0	0.0	100.0
	鸡肉	40	7	17.5	0	0.0	100.0
	合计	162	37	22.8	2	1.2	98.8
	猪肉	52	46	88.5	6	11.5	88.5
	牛肉	35	30	85.7	1	2.8	97.2
Cr	羊肉	35	30	85.7	2	5.7	94.3
	鸡肉	40	34	85.0	5	12.5	87.5
	合计	162	140	86.4	14	8.6	91.4

2.3.4 不同地区猪肉中重金属元素含量分析

从表 10 可知, 西藏不同地区的猪肉中的重金属元素中, 日喀则 As, 林芝和山南 Cd 均未检出。拉萨 Cd、Hg、Pb, 林芝 Hg、Pb, 日喀则 Cr、Cd、Hg、Pb, 山南 Hg、Pb 含量超过国家标准。拉萨 Cr、As, 林芝 Cr、As, 山南 Cr、As 含量均符合国家标准。

2.3.5 不同地区牛肉中重金属元素含量分析

从表 11 可知, 西藏不同地区的牛肉中的重金属元素中, 林芝 As、Cd, 日喀则 As; 山南 Cd 均未检出。拉萨 Cd、Hg, 林芝 Hg、Pb, 日喀则 Cd、Hg, 山南 Hg、Pb 含量超过国家标准。拉萨 Cr、As、Pb, 林芝 Cr, 日喀则 Cr、Pb, 山南 Cr、As 含量均符合国家标准。

2.4 矿质元素含量差异性分析

2.4.1 不同地区鸡肉中矿质元素元素含量差异性分析

由表 12 可见, 不同地区鸡肉中矿质元素含量差异性结果比较显示, 日喀则鸡肉中镁、钙含量[(725.39±33.88)、(25.40±4.34) mg/kg]与其他 3 个地区差异显著(P<0.01); 拉萨鸡肉中锰含量[(0.33±0.11) mg/kg]与林芝、山南 2 个地区差异显著(P<0.05); 拉萨鸡肉中铜、锌、硒、锶含量[(2.41±0.69)、(20.87±3.04)、(1.71±0.89)、(2.23±1.10) mg/kg]与其他 3 个地区差异显著(P<0.01)。

2.4.2 不同地区羊肉中矿质元素元素含量差异性分析

由表 13 可见, 不同地区羊肉中矿质元素含量差异性结果比较显示, 日喀则羊肉中镁、钙、锰、锶含量[(661.66±56.97)、(24.71±5.04)、(0.04±0.14)、(4.84±2.16) mg/kg]与其他 3 个地区差异显著(P<0.01), 山南羊肉中钾、铁含量[(3120.22±160.59)、(21.37±1.34) mg/kg]与拉萨差异显著(P<0.01)。

2.4.3 不同地区猪肉中矿质元素元素含量差异性分析

由表 14 可见, 不同地区猪肉中矿质元素含量差异性结果比较显示, 日喀则猪肉中镁、钙、锰含量[(697.92±32.39)、(34.92±10.3)、(0.46±0.10) mg/kg]与其他 3 个地区差异显著(P<0.01), 山南猪肉中铁含量[(10.32±1.19) mg/kg]与拉萨、日喀则差异显著(P<0.01), 拉萨猪肉中铜含量[(2.39±0.93) mg/kg]与其他 3 个地区差异显著(P<0.05)。

表 8 不同地区鸡肉中重金属元素含量(mg/kg)

Table 8 Content of heavy metals in chicken from different regions (mg/kg)

元素	拉萨	林芝	日喀则	山南	GB 2762—2017
Cr	0.69±0.31	0.11±0.01	1.61±0.40	0.10±0.02	1.00
As	0.01±0	0.04±0.03	ND	0.02±0	0.50
Cd	0.77±0.64	ND	0.92±0.55	ND	0.10
Hg	0.72±0.02	0.12±0.11	0.67±0.28	ND	0.05
Pb	0.27±0.11	0.36±0.09	1.24±0.76	0.12±0.06	0.20

注: ND 表示未检出。

表 9 不同地区羊肉中重金属元素含量(mg/kg)

Table 9 Content of heavy metals in mutton from different regions (mg/kg)

元素	拉萨	林芝	日喀则	山南	GB 2762—2017
Cr	0.05±0.02	0.11±0.03	1.18±0.58	0.16±0.04	1.00
As	ND	0.05±0.03	ND	0.01±0	0.50
Cd	0.88±0.25	ND	0.33	ND	0.10
Hg	0.62±0.19	0.10±0	0.74±0.13	0.20±0.04	0.05
Pb	0.13±0.06	0.34±0.13	0.40±0.20	0.18±0.06	0.20

注: ND 表示未检出。

表 10 不同地区猪肉中重金属元素含量(mg/kg)

Table 10 Content of heavy metals in pork from different regions (mg/kg)

元素	拉萨	林芝	日喀则	山南	GB 2762—2017
Cr	0.51±0.22	0.11±0.02	1.1±0.23	0.11±0.02	1.00
As	0.17±0.17	0.08±0.03	ND	0.01±0.01	0.50
Cd	0.59±0.34	ND	1.91±1	ND	0.10
Hg	0.48±0.18	0.11±0.05	0.62±0.12	0.07±0.05	0.05
Pb	0.25±0.07	0.32±0.08	0.2±0.08	0.21±0.06	0.20

注: ND 表示未检出。

表 11　不同地区牛肉中重金属元素含量(mg/kg)
Table 11　Content of heavy metals in beef from different regions (mg/kg)

元素	拉萨	林芝	日喀则	山南	GB 2762—2017
Cr	0.2±0.07	0.07±0.00	0.61±0.09	0.06±0.01	1.00
As	0.01±0	ND	ND	0.04±0.02	0.50
Cd	0.29±0.23	ND	1.33±0.23	ND	0.10
Hg	0.77±0.07	0.06±0	0.51±0.11	0.06±0.03	0.05
Pb	0.08±0.02	0.83±0.2	0.13±0.06	0.28±0.02	0.20

注: ND 表示未检出。

表 12　不同地区鸡肉中矿质元素含量差异性比较
Table 12　Comparison of mineral elements in chicken from different regions

地区	矿质元素含量/(mg/kg)									
	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Sr
拉萨	246.88±29.73	213.20±36.23^{B}	2367.98±292.44	2.82±0.67^{B}	0.33±0.11^{a}	4.56±1.04	2.41±0.69^{A}	20.87±3.04^{A}	1.71±0.89^{A}	2.23±1.10^{A}
林芝	296.88±25.00	176.68±13.06^{B}	2553.22±108.77	7.79±2.28^{B}	0.09±0.02^{b}	8.03±1.21	0.59±0.07^{B}	6.74±1.43^{B}	0.12±0.04^{B}	0.02±0.00^{B}
日喀则	297.39±38.56	725.39±33.88^{A}	2618.48±214.44	25.40±4.34^{A}	0.21±0.06^{ab}	6.76±1.12	0.94±0.18^{B}	8.86±3.00^{B}	0.25±0.07^{B}	0.58±0.49^{B}
山南	257.99±21.93	181.56±15.14^{B}	2418.46±99.78	5.87±1.16^{B}	0.08±0.03^{b}	6.66±0.66	0.46±0.03^{B}	5.92±1.87^{B}	0.13±0.03^{B}	0.05±0.01^{B}

注: 同一列不相同小写字母表示差异显著(P<0.05), 不相同大写字母表示差异极显著(P<0.01), 相同表示差异不显著(P>0.05)。

表 13　不同地区羊肉中矿质元素含量差异性比较
Table 13　Comparison of mineral elements in mutton from different regions

地区	矿质元素含量/(mg/kg)									
	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Sr
拉萨	389.93±45.65	215.33±40.47^{B}	2198.90±145.73^{B}	3.51±0.53^{B}	0.011±0.01^{B}	11.65±2.30^{B}	1.54±0.56	21.59±2.65	0.72±0.31	1.54±0.84^{B}
林芝	363.01±49.15	142.16±16.97^{B}	2888.88±150.12^{A}	5.18±1.20^{B}	0.10±0.02^{B}	17.18±1.76^{AB}	1.05±0.08	32.71±5.04	0.10±0.03	0.04±0.01^{B}
日喀则	322.06±54.90	661.66±56.97^{A}	2713.97±247.88^{AB}	24.71±5.04^{A}	0.04±0.14^{A}	8.64±2.43^{B}	1.20±0.18	28.91±5.75	0.79±0.33	4.84±2.16^{A}
山南	470.28±41.35	156.66±11.49^{B}	3120.22±160.59^{A}	6.81±1.62^{B}	0.13±0.02^{B}	21.37±1.34^{A}	0.86±0.05	32.68±2.88	0.16±0.05	0.13±0.05^{B}

注: 同一列不相同小写字母表示差异显著(P<0.05), 不相同大写字母表示差异极显著(P<0.01), 相同表示差异不显著(P>0.05)。

2.4.4　不同地区牛肉中矿质元素元素含量差异性分析

由表 15 可见, 不同地区牛肉中矿质元素含量差异性结果比较显示, 日喀则牛肉中镁含量[(678.99±39.28) mg/kg]与其他 3 个地区差异显著(P<0.01), 山南牛肉中钾、铁、锌含量[(4067.66±95.02)、(33.41±2.01)、(47.9±2.69) mg/kg]与其他 3 个地区差异显著(P<0.01), 日喀则牛肉中铁含量[(14.47±1.62) mg/kg]与其他 3 个地区差异显著(P<0.01)。

3　结论与讨论

通过对西藏不同地区畜产品中 15 种矿质元素的含量测定及分析表明, 不同地区的畜产品中元素 K、Na、Mg 含量均较高, 元素 Zn、Fe、Cu、Ca 次之, 具有潜在生理毒性的重金属 Cd、Pb、Cr、As、Hg 含量较低。其中 4 地市的畜产品中含量最高的常量元素是 K, 含量均明显高于其他矿质元素, 含量最高的微量元素是 Fe。该研究结果表明, 162 份畜产品矿质元素 Na、Mg、K、Ca、Mn、Fe、Cu、Zn、Se、Sr 的平均值分别为 311.68、269.15、2807.12、10.02、0.19、11.81、1.09、18.69、0.28、0.91 mg/kg, 重金属 Pb、Cd、Cr、As、Hg 的平均值分别为 0.22、0.12、0.35、0.01、0.18 mg/kg。由于畜产品不同部位的肌肉生

理功能、组织结构存在差异[11−14]，矿物元素在不同部位肌肉中的分布与沉积存在很大差异[15−18]，检测结果可能与取样方式、部位、制样、检测方法等有关，因此会存在一定的结果差异。

表 14 不同地区猪肉中矿质元素含量差异性比较

Table 14 Comparison of content of mineral elements in pork from different regions

地区	矿质元素含量/(mg/kg)									
	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Sr
拉萨	284.89±30.24	146.44±18.49^{B}	2822.87±257.74	3.32±1.01^{B}	0.45±0.18^{AB}	6.99±0.86^{BC}	2.39±0.93^{a}	15.89±1.76	0.58±0.24	2.67±1.23
林芝	279.77±17.46	149.09±12.91^{B}	2852.85±114.29	7.16±1.77^{B}	0.08±0.02^{B}	8.86±0.57^{AB}	0.74±0.05^{b}	17.95±2.04	0.18±0.03	0.01±0
日喀则	296.52±29.56	697.92±32.39^{A}	3047.6±168.57	34.92±10.3^{A}	0.46±0.1^{A}	5.88±0.71^{C}	1.07±0.21^{b}	21.23±2.12	0.74±0.4	1.73±0.72
山南	309.17±20.64	155.00±11.4^{B}	3167.63±140.6	4.17±0.62^{B}	0.12±0.03^{AB}	10.32±1.19^{A}	0.76±0.05^{b}	16.45±2.19	0.07±0.02	0.02±0

注：同一列不相同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不相同大写字母表示差异极显著(P<0.01)，相同表示差异不显著(P>0.05)。

表 15 不同地区牛肉中矿质元素含量差异性比较

Table 15 Comparison of mineral element contents in beef from different regions

地区	矿质元素含量/(mg/kg)									
	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	Se	Sr
拉萨	380.8±58.04	227.78±29.10^{B}	2836.05±191.21^{B}	13.42±8.65	0.34±0.09	18.65±4.35^{BC}	1.67±0.41	22.63±2.83^{C}	0.18±0.06	1.28±0.7
林芝	256.66±56.37	129.97±2.37^{B}	3571.33±219.07^{AB}	3.51±0.98	0.15±0.04	29.93±4.58^{AB}	0.99±0.17	43.76±7.33^{AB}	0.05	0.02±0.01
日喀则	245.04±20.19	678.99±39.28^{A}	2619.92±218.17^{B}	16.25±1.16	0.35±0.1	14.47±1.62^{C}	1.27±0.1	32.22±2.78^{B}	0.48±0.15	1.89±0.7
山南	253.58±12.17	137.25±3.14^{B}	4067.66±95.02^{A}	5.13±1.29	0.18±0.03	33.41±2.01^{A}	0.94±0.09	47.9±2.69^{A}	0.06±0.04	0.03±0

注：同一列不相同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不相同大写字母表示差异极显著(P<0.01)，相同表示差异不显著(P>0.05)。

重金属元素主要指比重大于 5 g/cm^3 的金属，常见的重金属元素主要包括 As、Pb、Hg、Cd[19]。该研究结果表明，林芝和山南的畜产品中均未检出 Cd；日喀则的畜产品中均未检出总 As；拉萨和日喀则畜产品中 Cd、总 Hg 均超标。重金属元素主要经饲养环境、投入品等经富集作用到畜禽体内，经过分析，重金属可能与养殖环节的防疫药品、饲草饲料、日常饮用水等有关[20]。

不同地区畜产品中矿质元素含量有一定差异性，其中不同地区鸡肉中矿质元素含量差异性结果比较显示，日喀则鸡肉中镁、钙含量与其他 3 个地区差异显著(P<0.01)，拉萨鸡肉中锰含量与林芝、山南差异显著(P<0.05)，拉萨鸡肉中铜、锌、硒、锶含量与其他 3 个地区差异显著(P<0.01)。不同地区羊肉中矿质元素含量差异性结果比较显示，日喀则羊肉中镁、钙、锰、锶含量与其他 3 个地区差异显著(P<0.01)，山南羊肉中铁含量与拉萨、日喀则差异显著(P<0.01)。不同地区猪肉中矿质元素含量差异性结果比较显示，日喀则猪肉中镁、钙含量与其他 3 个地区差异显著(P<0.01)，山南猪肉中铁含量与拉萨、日喀则差异显著(P<0.01)，拉萨猪肉中铜含量与其他 3 个地区差异显著(P<0.05)。不同地区牛肉中矿质元素含量差异性结果比较显示，日喀则牛肉中镁含量与其他 3 个地区差异显著(P<0.01)，日喀则牛肉中铁含量与林芝、山南差异显著(P<0.01)，拉萨牛肉中锌含量与其他 3 个地区差异显著(P<0.01)。西藏不同地区畜产品中矿物质元素含量存在差异，可能与地区间的畜禽生长环境差异有关，也可能与饲养方式不同有关，还可能与品种差异有关。

本研究明确了不同产地的畜产品中 15 种矿质元素的含量差异，可为西藏畜产品资源的开发利用提供一定依据和理论参考价值。

参考文献

[1] 黄作明, 黄珣. 微量元素与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2010, 27(6): 58–62
HUANG ZM, HUANG Y. Trace elements and human health [J]. Trace Element Health Res, 2010, 27(6): 58–62.

[2] 陈子林, 康华靖, 周楠, 等. 香果树主要金属元素分布及其与土壤养分之间的关系[J]. 中国野生植物资源, 2009, 28(1): 30–36.
CHEN ZL, KANG HJ, ZHOU N, *et al*. Element distribution and its relationship with soil nutrients in different communities of emmenopterys

henryi [J]. Chin Wild Plant Res, 2009, 28(1): 30–36.

[3] TRETHOWAN RM, REYNOLDS M, SAYRE K, *et al*. Adapting wheat cultivars to resource conserving farming practices and human nutritional needs [J]. Ann Appl Biol, 2005, 146(4): 405–413

[4] KOVÁCIK J, GRÚZ J, BIBA O, *et al*. Content of metals and metabolites in honey originated from the vicinity of industrial town Koice [J]. Environ Sci Pollut Res, 2016, 23(5): 4531–4540.

[5] 梁淑轩, 孙汉文. 石墨炉原子吸收光谱法分析药用植物中微量营养元素的含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(5): 847–849.
LIANG SX, SUN HW. Determination of trace elements in medicinal plants by graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Spectrosc Spect Anal, 2002, 22(5): 847–849.

[6] 牛迎凤, 韩春梅, 邵赟, 等. 十二种花类药材中八种微量元素的含量测定及比较研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(7): 1997–2000.
NIU YF, HAN CM, SHAO F, *et al*. Determination and comparison of eight trace elements in twelve kinds of flower medicinal materials [J]. Spectrosc Spect Anal, 2009, 29(7): 1997–2000.

[7] 范文秀, 朱芳坤, 郝海玲. 清热类中药中微量元素的比较研究[J]. 药物分析杂志, 2010, (2): 310–313.
FAN WX, ZHU FK, HAO HL. Comparative study on trace elements in heat clearing traditional Chinese medicine [J]. J Pharm Anal, 2010, (2): 310–313.

[8] OROIAN M, AMARIEI S, LEAHU A, *et al*. Multi-element composition of honey as a suitable tool for its authenticity analysis [J]. Polish J Food Nutri Sci, 2015, 65(2): 93–100.

[9] ALLWOOD MC, MARTIN H, GREENWOOD M, *et al*. Precipitation oftrace elements in parenteral nutritionmixtures [J]. Clini Nutri, 1998, 17(5): 223–226.

[10] 王 放, 王显伦. 食品营养保健原理及技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1997.
WANG F, WANG Xl. Food nutrition health principle and technology [M]. Beijing: Chinese Light Industry Press, 1997.

[11] 信金伟, 张成福, 姬秋梅, 等. 江达牦牛产肉性能及肉品质分析研究[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2017, (19): 228–232.
XIN JW, ZHANG CF, JI QM, *et al*. Analysis of meat production performance and meat quality of Jiangda yak [J]. Heilongjiang Anim Husb Vet, 2017, (19): 228–232.

[12] 宁康健, 蔡治华, 吕锦芳, 等. 皖东黄牛肌肉中部分矿物元素的比较与分析[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(1): 73–75.
NING KJ, CAI ZH, LV JF, *et al*. Comparison and analysis of some mineral elements in muscle of Wandong yellow cattle [J]. Jilin Agric Sci, 2015, 40(1): 73–75.

[13] 盖圣美, 游佳伟, 张中会, 等. 不同注水比例对猪肉营养品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(4): 182–188.
GAI SM, YOU JW, ZHANG ZH, *et al*. Effect of different water injection ratio on nutritional quality of pork [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(4): 182–188.

[14] 王雪蓉, 罗瑞明, 李亚蕾, 等. 综合肉样及环境矿物质元素信息的滩羊肉产地鉴别[J]. 食品科学, 2020, (18): 1–5.
WANG XR, LUO RM, LI YL, *et al*. Origin identification of Tan mutton based on meat samples and environmental mineral elements information [J]. Food Sci, 2020, (18): 1–5.

[15] 方焱秋, 张旺, 汪雪烨, 等. 提高纯种肉种公牛利用率的探讨[J]. 吉林畜牧兽医, 2020, 388(8): 72–73.
FANG YQ, ZHANG W, WANG XY, *et al*. Discussion on improving utilization rate of purebred bulls [J]. Jilin Anim Husb Vet, 2020, 388(8): 72–73.

[16] 张明秀. 矿物质对肉牛生长的影响[J]. 中国动物保健, 2020, 252(2): 47–48.
ZHANG MX. Effects of minerals on growth of beef cattle [J]. Chin Anim Health, 2020, 252(2): 47–48.

[17] 齐婧, 李莹莹, 姜锐, 等. 基于矿物元素指纹分析中国地理标志猪肉的产地溯源[J]. 现代食品科技, 2020, 36 (3): 61, 273–280.
QI J, LI YY, JIANG R, *et al*. Origin traceability of geographical indication pork in China based on mineral element fingerprint analysis [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(3): 61, 273–280.

[18] 段新华, 采复拉·大木拉, 陶卫东, 等. 新疆柯尔克孜羊肉品质分析研究[J]. 草食家畜, 2020, (5): 1–3.
DUAN XH, CAIFULA DML, TAO WD, *et al*. Quality analysis of Xinjiang Kirgiz mutton [J]. Herbi Livest, 2020, (5): 1–3.

[19] 刘进远, 杨加豹, 李斌, 等. 饲料中重金属与生猪安全养殖[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2015, 31(5): 3.
LIU JY, YANG JB, LI B, *et al*. Heavy metals in feed and safe pig breeding [J]. Chin Anim Husb Vet, 2015, 31(5): 3.

[20] 李铸. 舍饲牦牛饲养投入品安全分析与潜在危害点控制[D]. 成都: 西南民族大学, 2017.
LI Z. Safety analysis and potential hazard point control of feeding inputs for yak [D]. Chengdu: Southwest University for Nationalities, 2017.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

作者简介

杨小俊, 研究实习员, 主要研究方向为农畜产品品质检测。
E-mail: 956892326@qq.com