

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240725001

锡林郭勒不同地区羊肉矿物质元素比较分析

李春冬^{1,2,3,4}, 刘国强^{1,2,3,4}, 呼日^{1,2,3,4}, 薛文琪¹, 郭元晟^{1,2,3,4},
吴云芳^{1,2,3,4}, 郭梁^{1,2,3,4*}

- [1. 锡林郭勒职业学院草原生态与畜牧兽医系, 锡林浩特 026000; 2. 锡林郭勒生物工程研究院, 锡林浩特 026000;
3. 锡林郭勒盟食品科学与检测实验中心(锡林郭勒盟农畜产品检验检测中心), 锡林浩特 026000;
4. 内蒙古自治区肉乳营养与安全工程研究中心, 锡林浩特 026000]

摘要: **目的** 比较分析锡林郭勒地区不同羊肉矿物质元素。 **方法** 本研究以锡林郭勒地区苏尼特羊肉、乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉为实验样品, 采用电感耦合等离子体发射光谱法和电感耦合等离子体质谱法对 44 种常量和微量矿物质元素进行测定, 又以舍饲小尾寒羊肉为对照, 分析放牧羊肉与舍饲羊肉之间的矿物质元素差异。 **结果** 3 种放牧羊肉在常量元素含量存在较大差异, 乌珠穆沁羊肉 K、P、Na、Mg、Zn、Li、Ga 含量较高; 苏尼特羊肉 Ca、Sr、V、As、Pb、Tl、Sc 元素含量较高; 察哈尔羊肉各元素处于中下水平; 小尾寒羊肉元素水平介于苏尼特羊肉和乌珠穆沁羊肉之间。 **结论** 不同地区羊肉矿物质元素差异显著, 表现为: 常量元素靠营养, 微量元素源地区。

关键词: 锡林郭勒羊肉; 矿物质; 常量元素; 微量元素

Comparative analysis of mineral elements of mutton from different regions of Xilin Gol area

LI Chun-Dong^{1,2,3,4}, LIU Guo-Qiang^{1,2,3,4}, HU Ri^{1,2,3,4}, XUE Wen-Qi¹,
GUO Yuan-Sheng^{1,2,3,4}, WU Yun-Fang^{1,2,3,4}, GUO Liang^{1,2,3,4*}

[1. Department of Grassland Ecology and Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Xilingol Vocational College, Xilinhot 026000, China; 2. Xilingol Institute of Bioengineering, Xilinhot 026000, China; 3. Xilingol Food Science and Testing Experimental Center (Xilingol Agricultural and Animal Products Testing Center), Xilinhot 026000, China; 4. Inner Mongolia Autonomous Region Meat and Milk Nutrition and Safety Engineering Research Center, Xilinhot 026000, China]

ABSTRACT: Objective To compare analysis of mineral elements of mutton in Xilin Gol area. **Methods** In this study, 44 kinds of major and trace mineral elements were determined by inductively coupled plasma emission spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry with Sunite mutton, Ujumqin mutton and Chahar mutton in Xilingol as experimental samples, and the house fed Xiaowei Han mutton was used as control. To analyze the differences of mineral elements between grazed mutton and housed mutton. **Results** The results showed that the 3 kinds of grazing sheep there was biggish difference in constant elements, Ujimqin mutton boasts relatively high

基金项目: 内蒙古自治区自然科学基金项目(2022FX14、2024FX26)、锡林郭勒盟博士教学科研项目(XMB202401)、内蒙古自治区社会科学院分院课题(2024SKYFY052)

Fund: Supported by the Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region (2022FX14, 2024FX26), the Xilingol League Doctoral Teaching and Research Project (XMB202401), and the Project of Inner Mongolia Academy of Social Sciences (2024SKYFY052)

***通信作者:** 郭梁, 研究员, 主要研究方向为利用生物工程技术开发锡林郭勒野生动植物和微生物资源。E-mail: herdman86@163.com

***Corresponding author:** GUO Liang, Professor, Xilingol Vocational College, No.11, Mingantu Road, Xilinhot 026000, China. E-mail: herdman86@163.com

levels of K, P, Na, Mg, Zn, Li, and Ga. Sunite mutton had elevated content of Ca, Sr, V, As, Pb, Tl, and Sc elements, the various elements in Chahar mutton was at a medium to low level, the element level of Xiaowei Han mutton lies between that of Sunite mutton and Ujimqin mutton. **Conclusion** The mineral elements of mutton in different regions are significantly different, as follows: Major elements depend on nutrition, trace elements source area.

KEY WORDS: Xilin Gol area; mineral substance; macroelement; microelement

0 引言

锡林郭勒盟坐落于内蒙古中部,地形以高平原为主,地势南高北低,气候以昼夜温差较大、降水量少、天气寒冷、日照充足等为主要特点,锡林郭勒盟凭借广阔的优质天然草场成为我国主要的草原羊肉供应地。除此之外,锡林郭勒盟还拥有非常丰富的自然资源,现盟内有药用植物 400 余种,饲用植物 600 余种,共计 1200 余种野生植物^[1],养育出了被誉为“羊中之珍品,肉中之人参”的锡林郭勒草原羊。锡林郭勒草原羊具有环境适应性强、繁殖率高、遗传性能稳定、养殖效益优等特点。根据王莉梅等^[2]研究可知,锡林郭勒盟内牧草优质、水域丰富广阔,故而羊肉颜色鲜红诱人,肉质紧实细嫩。苏德斯琴等^[3]对锡林郭勒羊产肉性能和营养品质进行检测,结果表明在产肉性能方面优于内蒙古细毛羊,鲜味氨基酸占比高达 20%以上,使肉质更具有鲜味和香味。锡林郭勒羊不仅是优质特色肉食资源,还可以作为补充人体营养素的最佳来源,丰富的蛋白质、碳水化合物和矿物质元素使其极具营养价值^[4-5]。

国内外多位学者研究指出,不同饲养方式、不同地域和不同品种对肉的品质有不同影响,HASSAN 等^[6]通过对采集自挪威 10 个牧区半驯养驯鹿肉类样本,检测不同地理位置对矿物质和维生素对肉的影响,发现不同地理位置硒(Se)差异显著($P < 0.05$);WANG 等^[7]测定了内蒙古地区 104 只绵羊和 24 只山羊的元素数据,采用多元统计方法对不同来源、不同品种和饲养方式的元素数据进行了分析,羊肉中镁(Mg)、铝(Al)、钾(K)、钙(Ca)、锰(Mn)、铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)、铷(Rb)、锶(Sr)、钡(Ba)等 11 种元素在不同区域间存在显著差异($P < 0.05$);张新宇^[8]通过对舍饲肉羊血清中矿物质元素的研究,发现其肉中常量元素磷(P)、K 的含量高于 Ca;微量元素 Zn、Fe、Cu、Mn 的含量低于碘(I);重金属元素铊(Tl)、铅(Pb)的含量高于铬(Cr)、钒(V)、镍(Ni);稀土元素镱(Yb)的含量高于铈(Ho)、镝(Dy)和铒(Er);铟(In)的含量高于铊(Tb)、钆(Gd)等。玉梅^[9]在不同季节荒漠草原放牧羊矿物质营养盈亏平衡的研究中分析出羊血清里 K、Fe、Mn 的含量高出正常水平;Ca、钠(Na)、Mg、Zn 的含量较正常范围低;Cu、Se、钴(Co)的含量处于正常水平下限,在临界范围内;钼(Mo)的含量在正常值范围内。李前勇等^[10]对锡林浩特畜牧系统进行微量元素检测

分析,发现土壤和主食牧草中 Se 元素缺失,导致家畜普遍缺 Se。那日苏等^[11]对苏尼特草原土壤和牧草中矿物质含量及关系进行研究,发现牧草中矿物质含量与牧草的吸收方式有关,被动吸收条件下,牧草矿物质含量与土壤中的矿物质含量呈正相关。李亚奎等^[12]对四子王旗荒漠草原放牧羊矿物质含量进行研究,发现在冬季时,普遍缺乏 Zn、Cu。钱胡斯楞等^[13]研究年龄对苏尼特羊肉矿物质含量的影响,发现 Fe、Na 元素的含量与年龄成正比,Ca、P、Mg、Zn、I 元素的含量与年龄成反比。虽然目前羊肉中矿物质元素含量的检测与分析报道繁多,但对锡林郭勒羊肉中苏尼特羊肉、乌珠穆沁羊肉和察哈尔羊肉矿物质元素同时检测及对比研究还未见报道。因此,本研究意在检测锡林郭勒羊肉中矿物质元素的组成,并对比不同品种及饲养方式的差异,分析不同产地对羊肉矿物质元素的影响,为夯实锡林郭勒羊肉区域品牌量化基础以及产地溯源提供数据和理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

本研究选择内蒙古锡林郭勒盟放牧乌珠穆沁羊 26 只(采集于西乌珠穆沁旗)、苏尼特羊 24 只(采集于苏尼特左旗)、察哈尔羊 24 只(采集于镶黄旗)以及内蒙古巴彦淖尔市舍饲小尾寒羊(采集于巴彦淖尔市)23 只,6 月龄羔羊前腿作为实验材料。

硝酸(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);单元素和多元标准品均购于国家有色金属及电子材料分析测试中心。

1.2 仪器与设备

NexION 350Q 型电感耦合等离子体发射光谱仪(inductively coupled plasma-optical emission spectrometry, ICP-OES)、Optima 70300V 型电感耦合等离子体质谱仪(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)(珀金埃尔默仪器有限公司);EHD36 型全自动石墨消解仪(莱伯泰科有限公司);203E 型电子天平(精度为 0.01 g,瑞士梅特勒托利多仪器有限公司)。

1.3 实验试剂配制

1.3.1 ICP-OES 标准溶液的配制

吸取单元素标准溶液 10.00 mL,加入 2%的硝酸溶液

中定容到 100.00 mL, 制得质量浓度是 100.00 $\mu\text{g/mL}$ 的混合标准使用液。再吸取不同梯度(0、1.00、2.00、4.00、6.00、8.00、10.00 mL)的混合标准使用液, 转至 50.00 mL 容量瓶, 得到不同浓度(0、2、4、8、12、16、20 $\mu\text{g/mL}$)的混合标准使用液。

1.3.2 ICP-MS 标准溶液的配制

吸取 1000 $\mu\text{g/mL}$ Se 元素标准溶液 1.00 mL, 加入 2% 的硝酸溶液中定容到 100.00 mL, 制得质量浓度为 10.00 $\mu\text{g/mL}$ 的标准使用液。吸取 10.00 mL Se 元素标准溶液和 1.00 mL 多元素标准溶液, 加入 2% 的硝酸溶液中定容到 100.00 mL, 制得质量浓度为 1.00 $\mu\text{g/mL}$ 的混合标准使用液, 将 0.20、0.40、1.20、2.00、4.00 和 8.00 g 标准使用液分别加入到 2% 硝酸中至 40.0 g, 使溶液的最终质量浓度分别为 5.00、10.00、30.00、50.00、100.00 和 200.00 ng/mL。

1.3.3 ICP-MS 内标溶液的配制

吸取 1000 $\mu\text{g/mL}$ 铑(Rh)标准溶液 1.00 mL 定容至 100.00 mL, 得到 10.00 $\mu\text{g/mL}$ Rh 内标中间液。吸取 1.00 mL Rh 内标中间液和 1.00 mL 多元素内标溶液定容至 100.00 mL, 制得 100.00 ng/mL 多元素内标中间液。吸取 5.00 mL 多元素内标中间液定容至 100.00 mL, 最终获得 5.00 ng/mL 内标标准溶液。

1.4 矿物质元素测定

矿物质元素含量测定参照参考文献[14], 将样品置于烘箱中(60 $^{\circ}\text{C}$) 4 h 后再干燥器中冷却至室温, 称取 0.2 g 样品至的消解管后加入 6.0 mL 硝酸, 将消解管置于全自动石墨消解仪中消解, 消解管中剩余 1.00 mL 左右硝酸溶液后冷却样品, 将剩余溶液转移至 25.00 mL 定容管中定容备用。以只加 6.00 mL 硝酸作为空白对照。

1.5 数据处理

每个样品重复 3 次取平均值记录实验数据, 实验数据采用 Microsoft Excel 2016 进行初步整理, 整理后以平均值 \pm 标准偏差表示, 采用 SPSS 20.0 软件和 SPSS au 23.0 软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 常量矿物质元素含量对比分析

将 1.3.1 标准溶液导入 ICP-OES 中测定样品中常量元素, 实验结果如表 1 所示, 锡林郭勒放牧乌珠穆沁羊肉的 K、P、Na、Mg 含量均显著高于苏尼特羊肉、察哈尔羊肉和舍饲小尾寒羊肉($P<0.05$); 然而, 苏尼特羊肉的 Ca 含量显著高于乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉、舍饲小尾寒羊肉($P<0.05$), 约为乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉、舍饲小尾寒羊肉的 1.3 倍。上述分析表明 5 种常量矿物质在 4 种羊肉之间存在显著性差异, 且舍饲小尾寒羊肉矿物质含量处于放牧羊肉中间水平。

常量矿物质元素作为必须营养素之一, 多以离子形式存在于机体, 含量相对稳定, 在本次研究中发现同一地区不同旗县之间羊肉矿物质含量存在一定差别, 根据莎丽娜^[15]对自然放牧条件下苏尼特羊肉品质的研究发现, 其蛋白质含量明显高于小尾寒羊; 高凤明等^[16]发现苏尼特羊的蛋白质含量与 Ca 元素呈正相关。刘美玲等^[17]发现蒙古绵羊肉瘦肉和脂肪中矿物质元素含量差异较大, 且瘦肉与矿物质含量之间存在正相关性, 瘦肉率越高表明矿物质含量越高, 羊肉的口感和嫩度也相对变差, 舍饲羊矿物质含量低于放牧羊的原因可能是运动强度小, 脂肪含量高, 但其羊肉嫩度、口感、风味等感官特征均有所改善, 这与黄红涛等^[18]研究相符。因此, 舍饲小尾寒羊矿物质含量虽比锡林郭勒放牧羊低, 但却有肉质鲜嫩、口感爽滑、肉香十足等特点。

2.2 微量元素含量对比分析

将 1.3.2 标准溶液导入 ICP-MS 中, 以 Rh 作为内标元素采用内标法(1.3.3)对样品中微量元素进行测定, 实验结果如表 2 所示, 锡林郭勒放牧察哈尔羊肉 Zn 含量显著低于苏尼特羊肉、乌珠穆沁羊肉、舍饲小尾寒羊肉($P<0.05$); 乌珠穆沁羊肉的 Fe 含量显著高于苏尼特羊肉和察哈尔羊肉, 与舍饲小尾寒羊肉差异性不显著($P>0.05$); 舍饲小尾寒羊肉 Ti 含量显著高于苏尼特羊肉、乌珠穆沁羊肉和察哈尔羊

表 1 锡林郭勒放牧羊肉与舍饲小尾寒羊肉样品常量元素含量测定结果(mg/kg)

Table 1 Results of determination of macroelements in Xilingol herded mutton and house fed Xiaowei Han mutton samples (mg/kg)

品种/元素	苏尼特羊	乌珠穆沁羊	察哈尔羊	小尾寒羊
K	3191.30 \pm 148.79 ^c	3554.40 \pm 231.90 ^a	3362.00 \pm 216.41 ^b	3385.42 \pm 143.47 ^b
P	1833.04 \pm 100.25 ^b	2140.64 \pm 427.64 ^a	1947.92 \pm 186.71 ^b	1935.00 \pm 87.38 ^b
Na	713.61 \pm 69.05 ^b	815.76 \pm 94.33 ^a	737.08 \pm 86.13 ^b	747.33 \pm 59.53 ^b
Mg	204.00 \pm 12.25 ^c	227.48 \pm 11.92 ^a	209.00 \pm 14.23 ^{bc}	214.33 \pm 8.74 ^b
Ca	62.86 \pm 8.16 ^a	45.36 \pm 8.83 ^b	43.95 \pm 5.06 ^b	43.38 \pm 5.88 ^b

注: 同行肩标不同字母代表差异显著($P<0.05$), 相同字母或无字母代表差异不显著($P>0.05$), 表 2 同。

表 2 锡林郭勒放牧羊肉与舍饲小尾寒羊肉样品微量元素含量测定结果

Table 2 Results of determination of trace elements in Xilingol herded mutton and house fed Xiaowei Han mutton

品种/元素	苏尼特羊	乌珠穆沁羊	察哈尔羊	小尾寒羊
Zn	41.51±5.59 ^a	44.98±6.56 ^a	38.07±6.88 ^b	44.52±5.53 ^a
Fe	10.36±2.10 ^b	12.75±2.83 ^a	8.88±3.18 ^c	13.54±2.65 ^a
Ti	0.56424±0.05493 ^b	0.45916±0.11210 ^c	0.4566±0.16958 ^c	0.61774±0.03405 ^a
Cr	0.27852±0.04416 ^a	0.21916±0.07466 ^b	0.18659±0.06435 ^c	0.25292±0.04667 ^a
Sr	0.15399±0.02475 ^a	0.07472±0.02577 ^c	0.09766±0.03189 ^b	0.11279±0.02630 ^b
Se	0.08278±0.01525 ^b	0.05962±0.02329 ^c	0.03480±0.02019 ^d	0.16344±0.03599 ^a
V	0.04877±0.00773 ^a	0.04132±0.00886 ^b	0.03240±0.00981 ^c	0.04027±0.01165 ^b
Li	0.03233±0.02058 ^b	0.04673±0.03354 ^a	0.03516±0.01570 ^{ab}	0.01071±0.00498 ^c
As	0.02995±0.01181 ^a	0.01863±0.00706 ^a	0.01938±0.00941 ^a	0.02270±0.01024 ^a
Pb	0.01248±0.00874 ^a	0.00705±0.01008 ^a	0.00849±0.00846 ^a	0.00931±0.00685 ^a
Co	0.00266±0.00374 ^a	0.00183±0.00057 ^a	0.00192±0.00069 ^a	0.00239±0.00125 ^a
Ga	0.00264±0.00106 ^{ab}	0.00293±0.00228 ^a	0.00230±0.00099 ^{ab}	0.00138±0.00083 ^c
Tl	0.00049±0.00014 ^a	0.00026±0.00015 ^b	0.00032±0.00017 ^b	0.00025±0.00015 ^b
Al	—	1.36029±0.35680 ^b	9.66383±13.36348 ^a	—
B	—	1.05167±1.39691 ^a	1.63240±1.12773 ^a	—
Sn	—	0.01954±0.02642 ^a	0.00395±0.00658 ^a	—
Cd	—	0.00056±0.00103 ^a	0.00024±0.00010 ^a	—
Mn	—	—	—	0.10378±0.01661
Ni	0.05937±0.06340 ^a	—	—	0.04253±0.05214 ^a
Bi	—	—	0.00015±0.00005	—
Sc	0.02323±0.00175 ^a	0.00830±0.00093 ^b	0.00765±0.00119 ^b	0.02309±0.00243 ^a
Ce	—	0.00203±0.00217 ^a	0.00082±0.00035 ^a	—
Nd	—	0.00048±0.00038 ^a	0.00025±0.00013 ^a	—
Y	—	0.00025±0.00005 ^a	0.00029±0.00007 ^a	—
Pr	—	0.00018±0.00015 ^a	0.00011±0.00004 ^a	—
Er	—	0.00016±0.00009 ^a	0.00016±0.00006 ^a	—
La	—	0.00115±0.00050	—	—
Sm	—	0.00009±0.00002 ^a	0.00008±0.00001 ^a	—
Dy	—	—	0.00008±0.00001	—

注: 钛(Ti)、锂(Li)、砷(As)、镓(Ga)、硼(B)、锡(Sn)、镉(Cd)、铋(Bi)、钪(Sc)、铈(Ce)、钕(Nd)、钇(Y)、镨(Pr)、镧(La)、钐(Sm); 除 Sc、Ce、Nd、Y、Pr、Er、La、Sm、Dy 单位为 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 其余元素单位为 mg/kg ; —表示未检测到相应数据。

肉($P<0.05$); 苏尼特羊 Cr 含量显著高于乌珠穆沁羊肉和察哈尔羊肉($P<0.05$), 与舍饲小尾寒羊肉差异性不显著($P>0.05$); 苏尼特羊 Sr 含量显著高于乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉和舍饲小尾寒羊肉($P<0.05$)。在总体微量元素含量中发现锡林郭勒放牧羊中不同品种羊肉微量元素含量各有差异。与舍饲小尾寒羊肉对比, 放牧羊肉的微量元素含量低于舍饲小尾寒羊肉, 但放牧羊肉的微量矿物质元素种类显著高于舍饲小尾寒羊, 因此建议锡林郭勒放牧羊可以通过增加矿物质舔砖或补饲的方式来弥补微量矿物质元素含量

的缺失, 以提高锡林郭勒放牧羊的矿物质营养水平。

微量元素不仅体现肉的营养价值, 对生命体免疫系统也有一定促进作用, Zn 元素通过催化吞噬细胞对病原菌的杀害作用, 进而加快免疫反应的发生; Cu 元素可以提高炎症反应细胞的抗氧化能力, 使其保持活性增强防御应答能力^[19]。此外, 微量元素还影响家畜的繁育机能, 例如 Mn、Se、I 等元素的缺乏会导致家畜发情期不稳定; 缺乏 Fe、Zn 元素可能导致母畜子宫和卵巢的萎缩、诱发乳房炎症等^[20], 由此可以发现锡林郭勒放牧羊具有环境适应能力

强和繁殖生长率高等特点。

2.3 4 种羊肉矿物质主成分分析

对 4 种羊肉中矿物质元素进行主成分分析, 首先进行数据 KMO 和 Bartlett 球形度检验, 结果 KMO 为 0.625, 说明可以进行分析, Bartlett 球形度检验对应 *P* 值为 0 小于 0.05, 说明数据适合进行主成分分析。以特征值大于 1 为筛选原则, 提取 4 个主成分结果如表 3 所示。成分 1 的特征值为 3.036, 特征贡献率为 25.303%, 结合图 1 和表 4 主成分组件图可知, 主要影响因子为 P、K、Mg; 成分 2 的特征值为 2.319, 特征贡献率为 19.324%, 主要影响因子为 V、Na、Ca; 成分 3 的特征值为 1.579, 特征贡献率为 13.161%,

表 3 不同品种绵羊矿物质元素主成分分析表
Table 3 Principal component analysis of mineral elements in sheep different breeds

编号	特征根			主成分提取		
	特征根	方差解释率/%	累积/%	特征根	方差解释率/%	累积/%
1	3.036	25.303	25.303	3.036	25.303	25.303
2	2.319	19.324	44.627	2.319	19.324	44.627
3	1.579	13.161	57.788	1.579	13.161	57.788
4	1.225	10.211	67.999	1.225	10.211	67.999
5	0.941	7.845	75.844	-	-	-
6	0.791	6.596	82.440	-	-	-
7	0.611	5.093	87.533	-	-	-
8	0.499	4.162	91.695	-	-	-
9	0.409	3.412	95.107	-	-	-
10	0.291	2.425	97.532	-	-	-
11	0.173	1.438	98.970	-	-	-
12	0.124	1.030	100.000	-	-	-

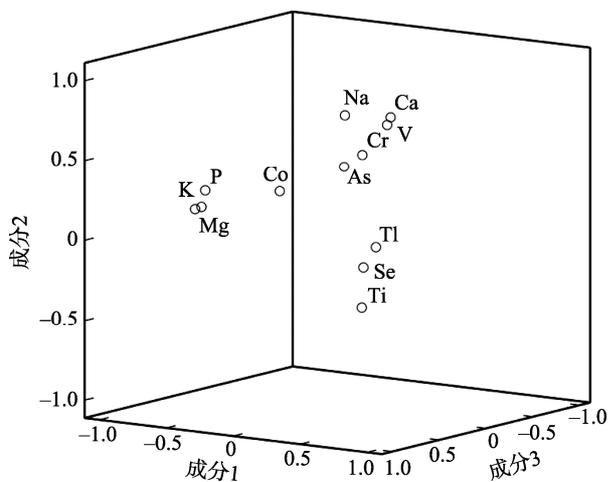


图 1 矿物质元素主成分图

Fig.1 Principal composition diagram of mineral elements

表 4 载荷系数表格
Table 4 Load factor table

名称	载荷系数			
	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4
K	-0.748	0.139	0.382	-0.068
P	-0.899	0.190	0.125	0.067
Na	-0.107	0.691	-0.233	0.339
Mg	-0.691	0.152	0.531	-0.028
Ca	0.223	0.668	-0.213	-0.095
As	0.029	0.411	-0.031	-0.660
Co	-0.076	0.323	0.506	0.364
Cr	0.499	0.602	0.446	-0.130
Ti	0.505	-0.349	0.460	0.179
Tl	0.377	-0.034	0.127	0.579
Se	0.605	-0.071	0.586	-0.336
V	0.335	0.744	-0.091	0.161

主要影响因子为 Se、Mg、Co; 成分 4 的特征值为 1.225, 特征贡献率为 10.211%, 主要影响因子为 As、Tl、Co。4 个成分累计方差贡献率为 67.999%。

3 结论与讨论

通过运用 ICP-OES 和 ICP-MS 对采集的锡林郭勒放牧苏尼特羊肉、乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉以及舍饲小尾寒羊肉样品进行 44 种矿物质元素检测, 全面分析不同放牧羊肉和舍饲羊肉之间矿物质元素种类和丰度差异。发现 4 种羊肉中共检测出 34 种矿物质元素, 其中常量元素 5 种, 微量元素 29 种。4 种羊肉中共同检测出 K、P、Na、Mg、Ca、Zn、Fe、Ti、Cr、Sr、Se、V、Li、As、Pb、Co、Ga、Tl、Sc 等 19 种元素, 仅在乌珠穆沁羊肉样品中检出 La 元素、察哈尔羊肉样品中检出 Bi、Dy 元素、舍饲小尾寒羊肉样品中检出 Mn 元素。

矿物质元素的测定和显著性比对分析, 发现 4 种羊肉在矿物质含量以及种类之间有一定差异。主要表现为: 锡林郭勒放牧乌珠穆沁羊肉中常量元素 K、P、Na、Mg 的含量显著高于小尾寒羊肉、察哈尔羊肉和苏尼特羊肉; 苏尼特羊肉 Ca 元素含量显著高于乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉和小尾寒羊肉。苏尼特羊肉中 Sr、V 元素含量高于乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉和小尾寒羊肉; 而察哈尔羊肉各元素为中下水平, 低于乌珠穆沁羊肉、苏尼特羊肉和小尾寒羊肉; 小尾寒羊肉元素水平介于苏尼特羊肉和乌珠穆沁羊肉之间。除小尾寒羊外, 其他羊肉样品均为锡林郭勒盟草原放牧羊, 结合苏尼特羊、乌珠穆沁羊和察哈尔羊的生活环境来看, 这种差异可能与土壤、牧草种类有关。孙淑敏等^[21]发现羊肉中矿物质元素受土壤影响有明显区域性特

征;曹梦丽等^[22]对甘南牦牛产地进行分析发现,同在甘肃省,玛曲县的土壤和水中矿物质含量、牧草的营养价值在整体上高于碌曲县;李日邦等^[23]研究发现,呼伦贝尔土壤 Se 含量普遍低于其他地区,由于土壤中缺乏 Se,牧草中 Se 含量间接不足,因此,放牧羊中也缺乏 Se。苏尼特羊出自苏尼特左、右旗,地处浑善达克草原,草原逐渐向荒漠化过渡,土地沙化导致了可放牧草场面积的缩小,从而致使矿物质含量流失;而乌珠穆沁羊源于乌珠穆沁草原,是原生态的天然牧场,土壤肥沃,草质优良,牧草种类丰富,可以补充多种矿物质元素;察哈尔羊产于正蓝旗、多伦县等地,属于半干旱草原环境,相较于天然牧场有一定劣势,但自然环境优于沙地。实验中微量元素的检测结果也反映了地区性差异,说明苏尼特羊与乌珠穆沁羊、察哈尔羊同是放牧羊,但因土壤、牧草以及矿物质种类的差别而有所不同。

根据饲养条件可将实验对象分为放牧苏尼特羊、乌珠穆沁羊、察哈尔羊和舍饲小尾寒羊,白扬等^[24]分析了不同饲养方式下牛肉中矿物质含量的差异,验证了饲养方式对牛肉中矿物质元素沉积的影响;罗玉龙等^[25]对不同饲养条件下苏尼特羊质进行测定分析,发现舍饲条件下羊肉的脂肪含量较高,且肉嫩易熟,放牧条件下羊肉的矿物质元素含量较高。舍饲条件下,羊的活动范围小,运动量少,皮下组织或肌肉间会有脂肪堆积,导致瘦肉率下降,矿物质含量也相对减少^[26]。另外喂养方式也会对矿物质种类有所影响,放牧羊属于草饲喂养,草料来自于牧场,牧草种类多元化,例如苔草、羊草、冷蒿、线叶菊等,还有多种药饲草料;而舍饲羊为圈养,饲料来源多为谷物,矿物质补充途径单一,虽然可以通过矿物质舔砖来补充,但矿物质种类仍低于放牧羊,进一步说明放牧羊的营养价值高于舍饲羊。综上所述,造成锡林郭勒放牧苏尼特羊、乌珠穆沁羊、察哈尔羊和舍饲小尾寒羊之间存在矿物质元素差异的原因与饲养方式有关,布音布和等研究发现舍饲羊血清中微量元素的矿物质含量优于散养羊,与本次研究结果相符,分析原因与饲养方式有关^[27]。此外,一些研究者也发现肉的品质会因饲养方式、生产基地、品种等因素而受到影响^[28-31]。综合上述所有观点发现产地土壤中矿物质的丰度决定了其在羊肉中的丰度,羊肉中的矿物质元素规律为:常量元素靠营养,微量元素源地区。

随着国人的生活水平提高,人们对肉和肉制品的需求从以前的数量提升为现在的质量。因此,在不断扩大肉羊养殖规模、提高产量的同时,也要发展羊肉及其制品的优良品质。本研究检测了锡林郭勒放牧羊肉(苏尼特羊肉、乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉)的矿物质元素含量数据,并与舍饲小尾寒羊肉进行对比,旨在为建立天然、有机、高附加价值的锡林郭勒羊肉品牌提供基础数据,夯实科学基础,同时也为锡林郭勒羊肉产地溯源提供理论支持。

参考文献

- [1] 张朕. 典型草原不同公路建设扰动方式的生态损坏评价研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2023.
ZHANG Z. Study on ecological damage assessment of disturbance modes in typical grassland highway construction areas [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2023.
- [2] 王莉梅, 王德宝, 康连和, 等. 自然放牧条件下不同品种羊羊肉品质分析[J]. 畜牧与饲料科学, 2020, 41(5): 58-62.
WANG LM, WANG DB, KANG LH, et al. Mutton quality analysis of different mutton sheep breeds raised under natural grazing conditions [J]. Anim Husb Feed Sci, 2020, 41(5): 58-62.
- [3] 苏德斯琴, 毕力格巴特尔, 辛满喜, 等. 察哈尔羊肉用性能 and 肉质特性研究[J]. 中国草食动物科学, 2020, 41(05): 58-62.
SU DSQ, BI LGBTE, XIN MX, et al. Study on performance and meat quality characteristics of Chahar mutton [J]. China Herbivore Sci, 2020, 41(5): 58-62.
- [4] 王泽栋. 不同地区肉羊营养成分和风味特性差异性研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
WANG ZD. Study on the difference of nutrient composition and flavor characteristics of sheep in different regions [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [5] 李春冬, 张建喆, 孙建萌, 等. 苏尼特羊肉氨基酸组成及与其他羊肉的对比分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 145-152.
LI CD, ZHANG JZ, SUN JM, et al. Analysis of amino acid composition of Sunit mutton and comparison with other mutton [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(4): 145-152.
- [6] HASSAN AA, SANDANGER TM, BRUSTAD M. Selected vitamins and essential elements in meat from semi-domesticated reindeer (*Rangifer tarandus tarandus* L.) in mid-and northern Norway: Geographical variations and effect of animal population density [J]. Nutrients, 2012, 4(7): 724-39.
- [7] WANG Q, LIU H, ZHAO S, et al. Discrimination of mutton from different sources (regions, feeding patterns and species) by mineral elements in Inner Mongolia, China [J]. Meat Sci, 2021, 174: 108415.
- [8] 张新宇. 内蒙古自治区 6 旗县舍饲羊矿物质营养研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2021.
ZHANG XY. Study on mineral nutrition of confinedness sheep in 6 banners of inner mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2021.
- [9] 玉梅. 不同季节荒漠草原放牧绵羊矿物质营养盈亏平衡研究[D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学, 2021.
YU M. Study on the balance of mineral nutrition of sheep grazing in desert steppe in different seasons [D]. Inner Mongolia: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [10] 李前勇, 张乃生, 王哲. 内蒙古锡林浩特地区土壤—牧草—家畜系统中 Cu、Fe、Zn、Mn、Mg、Se 六种元素含量的分析[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2001(10): 21-22.
LI QY, ZHANG NS, WANG Z. Analysis of Cu, Fe, Zn, Mn, Mg and Se in soil-herbivore-livestock system in Xilinhot area, Inner Mongolia [J]. Heilongjiang Anim Sci Vet Med, 2001(10): 21-22.
- [11] 那日苏, 王海, 范丽, 等. 内蒙古苏尼特右旗草原土壤和植物中矿物质营养元素含量及其关系[C]. 中国草学会青年工作委员会学术研讨会论文集(下册), 2010.
NA RS, WANG H, FAN L, et al. Content and relationship of mineral nutrient elements in soil and plants of grassland in Sunite Youqi, Inner Mongolia [C]. Proceedings of the Sym of Youth Working Comm of Chinese Grass Society (Part II), 2010.
- [12] 李亚奎, 胡红莲, 卢德勋. 短花针茅荒漠草地放牧系统微量元素季节

- 变化及盈亏分析[J]. 草业科学, 2012, 29(6): 869–875.
- LI YK, HU HL, LU DX. Seasonal changes and sufficiency or lack analysis of trace elements in grazing system in *Stipa breviflora* desert steppe [J]. Pratacultural Sci, 2012, 29(6): 869–875.
- [13] 钱胡斯楞, 李九月, 双金. 年龄对苏尼特肉羊肌肉矿物质及维生素含量的影响[J]. 当代畜牧养殖业, 2009(4): 25–28.
- QIAN HSL, LI JY, SHUANG J. Effects of age on muscle mineral and vitamin content of Sunit mutton sheep [J]. Mod Anim Husb, 2009(4): 25–28.
- [14] 吴云芳, 王宏慧, 杨喆, 等. ICP-OES 及 ICP-MS 法高效快速测定马奶样品中矿物质元素含量[J]. 畜牧与饲料科学, 2020, 41(1): 42–47, 65.
- WU YF, WAGN HH, YAGN Z, *et al.* Development of an efficient and rapid method based on ICP-OES and ICP-MS for determination of mineral elements contents in mare's milk samples [J]. Anim Husb Feed Sci, 2020, 41(1): 42–47, 65.
- [15] 莎丽娜. 自然放牧苏尼特羊肉品质特性的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
- SHA LN. The study on meat characteristics of natural grazing Sunit sheep [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2009.
- [16] 高凤明, 白乙尔图, 刘金, 等. 苏尼特羊及羊肉的品质与营养[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2014, 30(12): 43–44.
- GAO FM, BAI YET, LIU J, *et al.* Quality and nutrition of Sunit sheep and mutton [J]. Chin Abstracts Anim Husb Vet Med, 2014, 30(12): 43–44.
- [17] 刘美玲, 郭军, 高珂玲, 等. 内蒙古蒙古绵羊肉矿物质元素谱特征[J]. 肉类研究, 2017, 31(9): 25–31.
- LIU ML, GUO J, GAO DL, *et al.* Mineral profile of Mongolian sheep meat from different Inner Mongolian regions [J]. Meat Res, 2017, 31(9): 25–31.
- [18] 黄红涛, 冯若楠, 夏天宇, 等. 脂肪对肉品质的影响[J]. 畜牧兽医杂志, 2018, 37(9): 59–60.
- HUAGN HT, FENG RN, XIA TY, *et al.* Effect of fat on meat quality [J]. J Anim Sci Vet, 2018, 37(9): 59–60.
- [19] 苏从成. 微量元素对家畜繁殖机能的影响[J]. 中国动物保健, 2010, 12(8): 13–16.
- SU CC. The effect of trace elements on reproductive performance of livestock [J]. China Anim Health, 2010, 12(8): 13–16.
- [20] 史清河. 抗氧化性微量元素对反刍家畜免疫反应及乳房健康的影响(续)[J]. 中国饲料, 1998(22): 8–10.
- SHI QH. Effects of antioxidant trace elements on immune response and breast health of ruminant livestock (continued) [J]. China Feed, 1998(22): 8–10.
- [21] 孙淑敏, 郭波莉, 魏益民, 等. 基于矿物元素指纹的羊肉产地溯源技术[J]. 农业工程学报, 2012, 28(17): 237–243.
- SUN SM, GUO BL, WEI YM, *et al.* Geographical origin traceability of lamb based on mineral element fingerprints [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2012, 28(17): 237–243.
- [22] 曹梦丽, 郭韶珂, 王兴东, 等. 甘南牦牛产地土壤-牧草-水系统矿物质元素含量特征分析[J]. 中国草食动物科学, 2021, 41(4): 37–41.
- CAO ML, GUO SK, WANG XD. Characteristic analysis of mineral element content in soil-forage-water system in Gannan yak production area [J]. China Herb Sci, 2021, 41(4): 37–41.
- [23] 李日邦, 袁丕业, 王五一, 等. 呼伦贝尔盟克山病与环境硒动态监测研究[J]. 地理科学, 1993(4): 368–374, 392.
- LI RB, YUAN PY, WANG WY, *et al.* Study on dynamic monitoring of Keshan disease and environmental selenium in Hulunbuir [J]. Sci Geogr Sin, 1993(4): 368–374, 392.
- [24] 白扬, 雒帅, 王倩, 等. 内蒙古放牧和舍饲牛肉矿物质指纹特征[J]. 肉类研究, 2021, 35(1): 12–18.
- BAI Y, LUO S, WANG Q, *et al.* Mineral fingerprint characteristics of pasture-fed and barn-fed beef in Inner Mongolia [J]. Meat Res, 2021, 35(1): 12–18.
- [25] 罗玉龙, 王柏辉, 靳志敏, 等. 两种饲养方式下对苏尼特羊肉营养品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(19): 227–231.
- LUO YL, WANG BH, JIN ZM, *et al.* Effects of two feeding methods on nutritional quality of Sunit mutton [J]. Food Sci, 2016, 37(19): 227–231.
- [26] LEI S, VAN BEEK G. Influence of activity and dietary energy on broiler performance, carcass yield and sensory quality [J]. Br Poult Sci, 1997, 38(2): 183–189.
- [27] 布音布和, 包苏诺尔, 哈斯毕力格, 等. 乌审旗地区不同季节绵羊血清 7 种矿物质含量的检测[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2021, 42(6): 1–4.
- BU YBH, BAO SNR, HA SBLG, *et al.* Detection of 7 minerals in serum of sheep in different seasons in Wushen area [J]. J Inner Mongolia Agric Univ (Nat Sci Ed), 2021, 42(6): 1–4.
- [28] 孙冰, 侯艳茹, 徐丽媛, 等. 不同饲养方式下苏尼特羊肌纤维组成和羊肉品质的比较研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(11): 96–103.
- SUN B, HOU YR, XU LY, *et al.* Effects of different feeding patterns on muscle fiber type composition and mutton quality of sunit sheep [J]. Sci Technol Food Ind, 2022, 43(11): 96–103.
- [29] HOU YR, SU L, SU RN, *et al.* Effect of feeding regimen on meat quality, MyHC isoforms, AMPK, and PGC-1 alpha genes expression in the biceps femoris muscle of Mongolia sheep [J]. Food Sci Nutr, 2020, 8(5): 2262–2270.
- [30] 任晓饒, 王群霞, 任少东, 等. 不同饲养方式对多浪羊肉矿物质、氨基酸含量及风味的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(18): 25–32.
- REN XP, WANG QX, REN SD, *et al.* Effects of different feeding systems on minerals, amino acids and flavor of Duolang sheep meat [J]. Food Res Dev, 2023, 44(18): 25–32.
- [31] 刘美玲. 内蒙古绵羊肉常量与微量矿物质元素指纹特征初探[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- LIU ML. A Pilot study on macro and micro mineral elements profile of Inner Mongolian sheep meat [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)

作者简介



李春冬, 研究实习员, 主要研究方向为动植物和微生物资源研究与开发。
E-mail: lichundongde@163.com



郭梁, 研究员, 主要研究方向为利用生物工程技术开发锡林郭勒野生动植物和微生物资源。
E-mail: herdman86@163.com