

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240316002

# 基于矿物元素和稳定同位素指纹分析的 阿尔巴斯羊肉产地溯源

王柏辉<sup>1\*</sup>, 刘婷<sup>2</sup>, 杨晨辉<sup>1</sup>, 桑爽<sup>3</sup>, 柳沙<sup>3</sup>, 王海玉<sup>3</sup>,  
薛彦伦<sup>1</sup>, 郭佳<sup>1</sup>

(1. 鄂尔多斯市检验检测中心, 鄂尔多斯 017010; 2. 内蒙古农业大学食品科学与工程学院,  
呼和浩特 010018; 3. 内蒙古自治区产品质量检验研究院, 呼和浩特 010070)

**摘要:** **目的** 分析鄂尔多斯市不同地区绒山羊肉中矿物元素的差异, 构建阿尔巴斯羊肉产地鉴别的判别模型。**方法** 应用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)分析鄂尔多斯市3个地区(鄂托克旗、准格尔旗和达拉特旗)93个绒山羊肉中19种矿物元素的含量, 结合化学计量学方法(单因素方差分析、主成分分析和Fisher判别分析), 探索矿物元素指纹分析对阿尔巴斯羊肉产地溯源的可行性。**结果** 阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉中Ca、Se和V含量显著高于准格尔旗羊肉和达拉特旗羊肉( $P<0.05$ ), 阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉中 $\delta^{13}\text{C}$ 含量集中分布在 $15\text{‰}\sim 14\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 含量集中分布在 $4\text{‰}\sim 6\text{‰}$ 。筛选Ca、Fe、K、Mg、Se、Ti和V 7种矿物元素为特征指标建立阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉产地溯源模型, 回代检验和交叉验证的阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉产地判别正确率分别为93.9%和91.8%。**结论** 该模型用于阿尔巴斯羊肉产地溯源分析具有切实可行性和准确性。

**关键词:** 阿尔巴斯羊肉; 产地溯源; 矿物质元素; 稳定同位素; 地方特色

## Origin traceability of Albas mutton based on mineral element and stable isotope fingerprinting

WANG Bo-Hui<sup>1\*</sup>, LIU Ting<sup>2</sup>, YANG Chen-Hui<sup>1</sup>, SANG Shuang<sup>3</sup>, LIU Sha<sup>3</sup>,  
WANG Hai-Yu<sup>3</sup>, XUE Yan-Lun<sup>1</sup>, GUO Jia<sup>1</sup>

(1. Inspection and Testing Center of Ordos, Ordos 017010, China; 2. College of Food Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China; 3. The Inner Mongolia Autonomous Region Institute of Product Quality Inspection, Hohhot 010070, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the difference of mineral element content in cashmere goats from different areas in Ordos City, and construct discrimination model for the identification of Albas mutton. **Methods** The content of 19 kinds of mineral elements in 93 samples from 3 regions (Etuoke Banner, Zhungeer Banner and Dalad Banner of Ordos City) had been determined and analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Combining with the chemometrics (variance analysis, principal component analysis and discriminant

基金项目: 鄂尔多斯市科技计划项目(2021YY农128-38)

Fund: Supported by the Science and Technology Plan Project of Ordos (2021YY Agriculture 128-38)

\*通信作者: 王柏辉, 高级工程师, 主要研究方向为肉品科学。E-mail: wbhsmile@126.com

\*Corresponding author: WANG Bo-Hui, Senior Engineer, Inspection and Testing Center of Ordos, No.7 Chaoyang Street, Kangbashi District, Ordos 017010, China. E-mail: wbhsmile@126.com

analysis), the feasibility of tracing the origin of Albas mutton by analysis of mineral element fingerprints was investigated. **Results** The content of Ca, Se and V in Albas (Etuoke Banner) mutton were significantly higher than those in Zhungeer mutton and Dalad mutton ( $P < 0.05$ ). The  $\delta^{13}\text{C}$  content in Albas (Etuoke Banner) mutton was concentrated in  $-15\text{‰}$  to  $-14\text{‰}$ , and the  $\delta^{15}\text{N}$  content was concentrated in  $4\text{‰}$  to  $6\text{‰}$ . Ca, Fe, K, Mg, Se, Ti and V 7 kinds of mineral elements were selected as the characteristic indexes to establish the origin tracing model of Albas (Etuoke Banner) mutton. The accuracy of back test and cross-verification of Albas mutton origin identification was 93.9% and 91.8%, respectively. **Conclusion** The model construct achieves adequate classification accuracy, good sensitivities and acceptable specificities for detecting the fraud in the Albas mutton label.

**KEY WORDS:** Albas mutton; origin traceability; mineral elements; stable isotopes; local characteristics

## 0 引言

在国家政策和市场需求的持续鼓励及推动下,我国畜牧养殖业持续稳定地向上发展,其中肉羊产业在畜牧业中占比越来越高。内蒙古自治区在发展肉羊养殖方面有独特的自然优势和悠久的历史,使得羊肉产业成为了内蒙古的标志性产业之一。绒山羊产业是内蒙古鄂尔多斯地区农牧民增收的优势特色产业,尤其是阿尔巴斯绒山羊地处鄂尔多斯市西部鄂托克旗,是在鄂尔多斯高原特定的地理位置和生态环境下形成的典型的绒、肉兼用型品种,其肉质细、高铁高蛋白、低脂低胆固醇、氨基酸含量丰富以及无膻味,深受广大消费者的青睐<sup>[1-3]</sup>。近年来,随着阿尔巴斯羊肉的声誉和品牌影响力不断提升,市场上频发仿冒问题。同时,由于我国阿尔巴斯绒山羊品种资源保护体系还不够完善,也阻碍了地方种质资源保护和优势产业的发展。

动植物体中矿物元素的组成受到其生长区域、环境条件、生物代谢等条件的影响,利用先进的分析技术结合化学计量学可得到其独特的化学指纹图谱<sup>[4-6]</sup>。目前,较多研究通过分析动植物体内矿物元素的组成和含量差异来鉴别地理标志产品产地来源,建立矿物元素指纹图谱对地理标志产品来源进行分类<sup>[7-8]</sup>。矿物元素指纹分析已广泛应用于猪肉<sup>[9-11]</sup>、牛肉<sup>[12]</sup>、羊肉<sup>[13]</sup>、家禽<sup>[14]</sup>和水产<sup>[15]</sup>等畜肉产地溯源研究。赵莱昱等<sup>[16]</sup>对新疆皮山红羊进行真实性鉴别研究表明,矿物元素对皮山红羊的判别效果较好,且在背最长肌中的判别效果最好,品种和肌肉部位判别模型准确率分别为 100%和 99.29%。齐婧等<sup>[17]</sup>基于矿物元素对盐池滩羊、巴里坤哈萨克羊、苏尼特羊 3 种地理标志羊肉建立了簇类独立软模式法(soft independent modeling of class analogies, SIMCA)判别模型,判别准确率达到 100%。李梦怡等<sup>[18]</sup>采用元素分析仪-稳定同位素比值质谱法对 4 个主产区羊肉中  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{15}\text{N}$  进行检测,证实不同地区羊肉中  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{15}\text{N}$  含量存在差异,表明  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{15}\text{N}$  可作为产地溯源指标。此外, DNA 指纹溯源技术、近红外光谱技术、气相色谱技术在动物源性产品掺假以及产地溯源鉴定方面已较为成熟<sup>[19-23]</sup>。

综上所述,基于矿物元素指纹图谱分析技术结合化

学计量学构建产地判别分析模型可为阿尔巴斯羊肉产地溯源分析提供理论基础和技术方法,在此基础上,构建起阿尔巴斯羊肉产地溯源技术体系,提升阿尔巴斯羊肉原产地保护力和品牌影响力,为内蒙古羊肉产地溯源技术体系的建立和完善提供技术依据和理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器设备

MARS6 微波消解仪(美国 CEM 公司); MARS240/50 型微波消解仪(上海新仪微波化学科技有限公司); DHG-9030A 型电热恒温鼓风干燥箱(上海善志仪器设备有限公司); DFY-200A 型样品粉碎机(河北北辰科技有限公司); SCQ-HD300A 型超声水浴箱(上海声彦超声波仪器有限公司); UPHW-11-90T 型超纯水器(深圳宏博水处理设备有限公司); 350D 型电感耦合等离子体质谱仪(美国 PerkinElmer 公司); FLASH 2000-DELTA-V ADVANTAGE 型稳定同位素质谱仪(美国赛默飞世尔有限责任公司)。

### 1.2 试剂

$\text{HNO}_3$ (优级纯,成都市科隆化学品有限公司);  $\text{H}_2\text{O}_2$ (优级纯,国药集团化学试剂有限公司); 石油醚(优级纯,天津市大茂化学试剂厂); 超纯水(GB/T 6682—2008《分析实验室用水规格和试验方法》规定的一级水); 氩气、氦气(纯度  $\geq 99.995\%$ , 大连大特气体有限公司)。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 矿物质元素的测定

##### (1) 样品采集

鄂尔多斯市鄂托克旗、达拉特旗和准格尔旗 3 个地区为实验区域,鄂托克旗选择 49 只阿尔巴斯绒山羊,准格尔旗选择 22 只绒山羊,达拉特旗选择 22 只绒山羊,采集绒山羊股二头肌作为实验材料,  $-20\text{ }^\circ\text{C}$  储存待用。

##### (2) 前处理方法

称取组织样品 0.5 g,置于微波消解管中,加入 6 mL  $\text{HNO}_3$  和 2 mL  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,按照 GB 5009.268—2016《食品安全

国家标准《食品中多元素的测定》第一法 电感耦合等离子体质谱法进行微波消解。通过恒温消解仪赶酸后用超纯水定容至 50 mL, 待测, 同时开展空白对照实验。利用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)测定样品中 Ba、Ca、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、Sb、Se、Sr、Ti、V 和 Zn 19 种矿物元素的含量。

### (3)测定仪器条件

仪器参数设置为: 射频功率 1550 W, 采样锥/截取锥采取镍锥, 采集模式为跳峰, 重复次数 2 次, 雾化器采用同心雾化器, 测量模式为碰撞池, 氦气流量 4.35 mL/min, 采样时间持续 0.1 s。

### 1.3.2 稳定同位素的测定

#### (1)样品采集

鄂尔多斯市鄂托克旗、达拉特旗和准格尔旗 3 个地区为实验区域, 鄂托克旗选择 12 只阿尔巴斯绒山羊; 准格尔旗选择 10 只绒山羊; 达拉特旗选择 10 只绒山羊, 采集绒山羊股二头肌作为实验材料, -20 °C 储存待用。

#### (2)测定方法

按照 DB15/T 975—2016《畜产品牛羊肉中碳、氮同位素丰度比检测方法》进行实验, 实验参数为: 还原炉温度为 650 °C, 进样器氦气吹扫流量为 200 mL/min, 载气为氦气, 稀释压力为 0.6 bar, 流量为 95 mL/min, 燃烧炉温度为 1000 °C, CO<sub>2</sub> 压力为 0.6 bar, N<sub>2</sub> 压力为 1.0 bar。

## 1.4 数据处理

本研究中鄂尔多斯市不同区域绒山羊肉中矿物元素含量利用 SPSS 25.0 软件开展单因素方差分析、主成分分析和 Fisher 判别分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同地区绒山羊肉中矿物元素含量的差异分析

通过对鄂尔多斯市不同地区绒山羊股二头肌中的 19 种元素(Ba、Ca、Cd、Co、Cr、Cu、Fe、K、Mg、Mn、Mo、Na、Ni、Sb、Se、Sr、Ti、V 和 Zn)含量进行方差分析, 其中 Ca、Se、K、Mg、Fe、Sb、Sr、Ti 和 V 元素含量存在显著差异。由表 1 所示, 阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉中 Ca、Se 和 V 含量显著高于准格尔旗羊肉和达拉特旗羊肉( $P < 0.05$ ), 准格尔旗羊肉中 K 和 Mg 含量显著高于阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉( $P < 0.05$ ), 达拉特旗羊肉中 Fe、Ti 和 Sb 含量显著高于阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉( $P < 0.05$ ), 而 Sr 含量显著低于阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉, 3 个地区其他元素间不存在差异显著( $P > 0.05$ )。这与赵汝婷<sup>[24]</sup>、WANG 等<sup>[25]</sup>的研究结果一致, 都证实了内蒙古地区与其他地区以及内蒙古不同地区羊肉中矿物元素的含量差异显著。矿物元素含量的差异揭示了不同

地区绒山羊肉间存在差异, 但单一指标不足以对产地来源进行准确判别, 故采用主成分分析和 Fisher 函数判别分析进一步分析阿尔巴斯羊肉产地溯源情况。

表 1 不同地区绒山羊肉中矿物元素含量的差异  
Table 1 Differences in mineral element content in the mutton of cashmere goats from different regions

元素	鄂托克旗羊肉	准格尔旗羊肉	达拉特旗羊肉	显著性
Ba/(μg/kg)	0.185	0.168	0.181	0.601
Ca/(mg/kg)	90.204 <sup>a</sup>	58.563 <sup>b</sup>	63.575 <sup>b</sup>	0.003
Cd/(μg/kg)	0.020	0.020	0.019	0.303
Co/(μg/kg)	0.023	0.021	0.022	0.091
Cr/(μg/kg)	0.163	0.097	0.222	0.283
Cu/(μg/kg)	2.083	2.135	1.953	0.702
Fe/(mg/kg)	3.742 <sup>b</sup>	5.839 <sup>ab</sup>	6.614 <sup>a</sup>	0.011
K/(mg/kg)	3593.098 <sup>b</sup>	4161.475 <sup>a</sup>	3866.855 <sup>b</sup>	0
Mg/(mg/kg)	327.815 <sup>b</sup>	357.421 <sup>a</sup>	340.856 <sup>ab</sup>	0.014
Mn/(μg/kg)	0.406	0.378	0.394	0.837
Mo/(μg/kg)	0.025	0.028	0.019	0.293
Na/(mg/kg)	736.501	682.646	690.978	0.169
Ni/(μg/kg)	0.080	0.080	0.076	0.954
Sb/(μg/kg)	0.001 <sup>b</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.010 <sup>a</sup>	0
Se/(μg/kg)	0.113 <sup>a</sup>	0.078 <sup>b</sup>	0.019 <sup>c</sup>	0
Sr/(μg/kg)	0.037 <sup>a</sup>	0.033 <sup>ab</sup>	0.016 <sup>b</sup>	0.06
Ti/(μg/kg)	0.815 <sup>b</sup>	0.817 <sup>b</sup>	4.072 <sup>a</sup>	0
V/(μg/kg)	0.045 <sup>a</sup>	0.027 <sup>b</sup>	0.029 <sup>b</sup>	0
Zn/(μg/kg)	60.279	59.539	56.612	0.354

注: 同行上标不同小写字母表示在 0.05 水平上有显著差异( $P < 0.05$ )。

### 2.2 主成分分析

主成分分析通过降维来消除不同样品中各矿物元素间的相关性, 从而达到实现多元统计分析的目的<sup>[26-28]</sup>。对鄂尔多斯市不同地区绒山羊肉中矿物元素进行主成分分析, 结果见表 2。结果表明共有 6 个主成分, 其方差贡献率依次为 20.097%、17.648%、15.723%、11.908%、8.883% 和 6.225%, 6 个主成分的累计方差贡献率达 80.483%。

由主成分抽提各矿物元素结果分析得知, 矿物元素 Co、Cr、Mn 和 Ni 在第一主成分上载荷较大, 即与第一主成分的相关程度较高。Fe、Se 和 Ti 在第二主成分上载荷较大(Sb 含量较低, 不考虑), 即与第二主成分的相关程度较高。矿物元素 Ca、Mo、Na、Sr 和 V 在第三主成分上载荷较大, 即与第三主成分的相关程度较高。Cu、K、Mg 和 Zn 在第四主成分上载荷较大, 即与第四主成分的相关程度较高。基于上述实验分析, 结果显示鄂尔多斯市不同地区的绒山羊肉中矿物元素存在差异规律, 成功寻获并识别特征指标, 为阿尔巴斯绒山羊产地溯源判别模型的构建提供技术理论依据。

表 2 前 6 个主成分的载荷矩阵及方差贡献率  
Table 2 Loading matrix and variance contribution rate of the first 6 principal components

元素	主成分分析					
	1	2	3	4	5	6
Ba	0.468	0.103	0.076	-0.379	0.627	-0.101
Ca	0.132	0.375	0.630	-0.336	0.441	0.195
Cd	0.436	0.565	0.002	0.036	0.200	-0.534
Co	0.822	0.277	0.274	-0.051	-0.208	-0.185
Cr	0.698	-0.140	0.131	-0.293	-0.508	0.149
Cu	0.555	-0.025	-0.311	0.576	0.113	-0.020
Fe	0.535	-0.639	-0.182	0.135	0.158	0.164
K	0.150	-0.450	0.301	0.539	0.330	0.346
Mg	-0.052	-0.163	0.607	0.671	0.210	0.052
Mn	0.663	-0.127	0.303	-0.050	-0.543	0.070
Mo	0.431	0.175	-0.549	0.389	0.081	0.036
Na	-0.070	0.057	0.782	0.273	-0.162	0.122
Ni	0.824	0.005	-0.253	-0.085	0.026	0.173
Sb	0.182	-0.777	0.183	-0.215	0.208	-0.188
Se	0.044	0.625	0.088	0.273	-0.209	0.379
Sr	0.330	0.291	-0.492	-0.145	0.349	0.394
Ti	0.248	-0.822	0.305	-0.172	0.050	-0.189
V	0.203	0.508	0.661	-0.259	0.168	0.111
Zn	0.235	0.295	0.150	0.593	0.011	-0.458
方差贡献率/%	20.097	17.648	15.723	11.908	8.883	6.225
累计方差贡献率/%	20.097	37.745	53.468	65.376	74.259	80.483

2.3 判别分析

如表 3 所示, 为了明确每个矿物元素含量对阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉产地的鉴别效果, 选用逐步判别分析筛选出前 6 个主成分最具有判别能力的因子, 从不同地区绒山羊羊肉样品各元素指标的方差分析、主成分分析结果中选择 Ca、Fe、K、Mg、Se、Ti 和 V 7 种元素进行逐步分析, 筛选出有效变量, 建立如下判别模型。

具体判别模型如下:

$$Y_a = -0.033Ca - 0.217Fe + 0.018K + 0.068Mg + 48.467Se - 1.135Ti + 110.979V - 47.406$$

$$Y_b = -0.03Ca - 0.303Fe + 0.023K + 0.080Mg - 1.327Se - 1.597Ti - 28.740V - 60.085$$

$$Y_c = -0.046Ca - 0.435Fe + 0.018K + 0.101Mg - 45.383Se - 0.146Ti + 2.566V - 50.515$$

式中, Ca、Fe、K、Mg、Se、Ti、V 为矿物元素值;  $Y_a$ 、 $Y_b$  和  $Y_c$  分别为鄂托克旗、准格尔旗、达拉特旗 3 个地区绒山羊股二头肌中矿物元素含量值。

根据孙淑敏<sup>[29]</sup>的方法, 利用判别模型对阿尔巴斯羊肉样品进行回代或交叉检验, 对判别模型进行有效性验证。由表 4 可知, 该模型的回代验证结果显示, 鄂托克旗有 93.9% 的样品被正确识别, 准格尔旗有 77.3% 的样品被识别,

达拉特旗有 72.7% 的样品被正确识别。该模型交叉验证结果显示, 鄂托克旗有 91.8% 的样品被正确识别, 准格尔旗有 63.6% 的样品被识别, 达拉特旗有 68.2% 的样品被正确识别。该模型中鄂托克旗样品的回代检验和交叉检验错判率分别为 6.1% 和 8.2%, 低于 10%, 具有实际应用意义。由此可知, 矿物元素指纹分析对阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉产地溯源具有应用价值, 证明矿物元素 Ca、Fe、K、Mg、Se、Ti 和 V

表 3 Fisher 判别函数系数  
Table 3 Fisher discriminant function coefficients

元素	地域		
	鄂托克旗	准格尔旗	达拉特旗
Ca	-0.033	-0.030	-0.046
Fe	-0.217	-0.303	-0.435
K	0.018	0.023	0.018
Mg	0.068	0.080	0.101
Se	48.467	-1.327	-45.383
Ti	-1.135	-1.597	-0.146
V	110.979	-28.740	2.566
(常量)	-47.406	-60.085	-50.515

表 4 不同地区绒山羊羊肉中矿物元素判别分析分类结果  
Table 4 Classification results of discriminant analysis of mineral elements in the mutton of cashmere goats from different regions

分类	原属类别	预测组别			整体
		鄂托克旗	准格尔旗	达拉特旗	
回代 检验	鄂托克旗	46	3	0	49
	准格尔旗	1	17	4	22
	达拉特旗	2	4	16	22
	正确率/%	93.9	77.3	72.7	84.9
交叉 检验	鄂托克旗	45	4	0	49
	准格尔旗	3	14	5	22
	达拉特旗	2	5	15	22
	正确率/%	91.8	63.6	68.2	79.6

的含量对阿尔巴斯羊肉产地具有有效的判别力,为区分或鉴别阿尔巴斯绒山羊羊肉原产地指纹判别模型的构建提供理论基础,这与马梦斌等<sup>[30]</sup>对滩羊肉产地溯源研究中利用矿物元素差异规律建立的模型的研究类似。

## 2.4 不同地区绒山羊羊肉中稳定同位素含量的差异分析

根据实验结果(表 5),阿尔巴斯(鄂托克旗)羊肉中  $\delta^{13}\text{C}$  含量集中分布在 $-15\text{‰}$ ~ $14\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  含量集中分布在 $4\text{‰}$ ~ $6\text{‰}$ ,因此,阿尔巴斯羊肉中稳定同位素  $\delta^{13}\text{C}$  和  $\delta^{15}\text{N}$  可作为判断是否为阿尔巴斯羊肉的依据,也可为地方标准 DB 15/T 1561《阿尔巴斯羊肉》的制修订提供基础理论依据。

表 5 不同地区绒山羊羊肉中稳定同位素含量差异分析(‰)  
Table 5 Differential analysis of stable isotope content in the mutton of cashmere goats from different regions (‰)

元素	鄂托克旗	准格尔旗	达拉特旗	显著性
$\delta^{13}\text{C}$	$-15.45^a$	$-14.92^{ab}$	$-14.44^b$	0.077
$\delta^{15}\text{N}$	$4.75^a$	$3.57^b$	$3.57^b$	0.046
$\delta^{13}\text{C}/\delta^{15}\text{N}$	-4.04	-3.44	-3.79	0.679

## 3 结 论

本研究通过对鄂尔多斯不同地区绒山羊羊肉中矿物元素和稳定同位素含量进行分析,结合化学计量学方法建立阿尔巴斯绒山羊羊肉真实性鉴别模型。研究证实不同地区的绒山羊羊肉矿物元素含量存在显著差异,可能与饲养环境、品种等因素有关。采用逐步判别分析筛选出的 7 种矿物元素(Ca、Fe、K、Mg、Se、Ti 和 V)溯源指标建立的溯源判别模型对阿尔巴斯羊肉产地具有较高的判别准确率。阿尔巴斯羊肉中  $\delta^{13}\text{C}$  含量集中分布在 $-15\text{‰}$ ~ $14\text{‰}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  含量集中分布在 $4\text{‰}$ ~ $6\text{‰}$ 。因此,矿物元素指纹分析技术在阿尔巴斯羊肉产地溯源中具有切实可行性,可为特

色品牌保护和地理标志产品的矿物元素溯源体系建立提供理论参考。

## 参考文献

- [1] 郭荣. 舍饲和放牧模式对阿尔巴斯绒山羊肉质及脂肪、蛋白质代谢相关指标的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.  
GUO R. The effect of yard-feeding and grazing mode on meat quality and related indexes of fat and protein metabolism of Albas cashmere goat [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2021.
- [2] 成海荣, 乌力吉, 刘飞. 赛羊会见证内蒙古白绒山羊(阿尔巴斯型)高质量发展之路[J]. 畜牧产业, 2023, 10: 43-48.  
CHENG HR, WU LJ, LIU F. Sheep racing will witness the high-quality development of Inner Mongolia white cashmere goats (Albas) [J]. Anim Agric, 2023, 10: 43-48.
- [3] 王柏辉, 郭佳, 周霞, 等. 阿尔巴斯山羊不同肌肉部位营养品质分析[J]. 食品科技, 2023, 48(1): 113-119.  
WANG BH, GUO J, ZHOU X, et al. Analysis of nutrition quality in different cuts of Arbas goat [J]. Food Sci Technol, 2023, 48(1): 113-119.
- [4] 陈坡, 曹进, 李梦怡, 等. 食品产地溯源技术及结合化学计量学应用进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(22): 116-125.  
CHEN P, CAO J, LI MY, et al. Progress in traceability technology of food origin and its application in combination with chemometrics [J]. J Food Saf Qual, 2023, 14(22): 116-125.
- [5] DOU XJ, ZHANG LX, YANG RN, et al. Mass spectrometry in food authentication and origin traceability mass spectrometry reviews [J]. Mass Spectrom Rev, 2022, 42(5): 1772-1807.
- [6] XU Y, ZHONG P, JIANG A, et al. Raman spectroscopy coupled with chemometrics for food authentication: A review [J]. TRAC Trend Anal Chem, 2020, 131: 116017.
- [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] 徐芝亮, 章新泉. 基于电感耦合等离子体串联质谱法分析矿物元素的江西茶叶产地溯源[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(4): 186-193.  
XU ZL, ZHANG XQ. Geographical origin traceability of tea in Jiangxi Province based on inductively coupled plasma tandem mass spectrometry analysis of trace mineral elements [J]. J Food Saf Qual, 2024, 15(4): 186-193.
- [9] KIM JS, HWANG IM, LEE GH, et al. Geographical origin authentication of pork using multi-element and multivariate data analyses [J]. Meat Sci, 2017, 123: 13-20.
- [10] 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): 267-274.  
QI J, LI YY, JIANG R, et al. Origin traceability of Chinese geographical indication-featured pork based on mineral element fingerprints [J]. Mod Food Sci Technol, 2020, 36(3): 267-274.
- [11] 池福敏, 次顿, 谭占坤, 等. 不同产地藏猪肉矿物元素含量差异分析[J]. 现代食品, 2019, 11: 126-129.  
CHI FM, CI D, TAN ZK, et al. Comparison of mineral element content of Tibetan pig from different regions [J]. Mod Food, 2019, 11: 126-129.
- [12] FRANKE BM, HALDIMANN M, GERMAUD G, et al. Element signature analysis: Its validation as a tool for geographic authentication of the origin

- of dried beef and poultry meat [J]. *Eur Food Res Technol*, 2008, 227(3): 701–708.
- [13] SUN SM, GUO BL, WEI YM, *et al.* Multi-element analysis for determining the geographical origin of mutton from different regions of China [J]. *Food Chem*, 2011, 124(3): 1151–1156.
- [14] 白婷, 蔡浩洋, 邓银华, 等. 基于微量元素指纹图谱对黑水凤尾鸡进行产地溯源的研究[J]. *中国测试*, 2018, 44(9): 57–62.
- BAI T, CAI HY, DENG YH, *et al.* Study on origin of Heishui Phoenix chicken based on trace element fingerprint [J]. *China Meas Test*, 2018, 44(9): 57–62.
- [15] 洪赫阳, 张信泽, 张秀珍, 等. 基于 Sr 稳定同位素和矿物元素的鲍鱼产地溯源技术研究[J]. *核农学报*, 2023, 37(11): 2185–2195.
- HONG HY, ZHANG XZ, ZHANG XZ, *et al.* Tracing the geographical origin of abalone using Sr stable isotopes and mineral elements [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2023, 37(11): 2185–2195.
- [16] 赵莱昱, 张鸿儒, 王晶, 等. 基于矿物元素指纹图谱对新疆皮山红羊真实性鉴别[J]. *食品科学*, 2024, 45(4): 300–306.
- ZHAO LY, ZHANG HR, WANG J, *et al.* Authentication of Xinjiang Pishan Hong sheep meat based on multi-element fingerprinting [J]. *Food Sci*, 2024, 45(4): 300–306.
- [17] 齐婧, 李莹莹, 姜锐, 等. 基于矿物元素指纹的地理标志羊肉真实性鉴别[J]. *食品科学*, 2022, 43(24): 365–370.
- QI J, LI YY J, JIANG R, *et al.* Authenticity identification of geographical indication mutton based on mineral element fingerprint [J]. *Food Sci*, 2022, 43(24): 365–370.
- [18] 李梦怡, 贾菲菲, 董喆, 等. 我国不同产区羊肉中碳、氮同位素比值特征及溯源研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2022, 13(5): 1663–1669.
- LI MY, JIA FF, DONG Z, *et al.* Characteristics and traceability research on carbon and nitrogen stable isotope ratios of mutton from different producing regions of China [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(5): 1663–1669.
- [19] LOFTUS R. Traceability of biotech-derived animals: Application of DNA technology [J]. *Rev Sci Tech Oie*, 2005, 24(1): 231–242.
- [20] 陈通, 吴志远, 王正云, 等. 基于气相离子迁移谱和化学计量学方法判别肉的种类[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(7): 221–226.
- CHEN T, WU ZY, WANG ZY, *et al.* Identification of meat species by gas chromatography-ion mobility spectrometry and chemometrics [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2019, 19(7): 221–226.
- [21] LOPEZ MA, INSAUSTI K, JAREN C, *et al.* Detection of minced lamb and beef fraud using NIR spectroscopy [J]. *Food Control*, 2019, 98: 465–473.
- [22] BAI HW, ZHOU GH, HU YN, *et al.* Traceability technologies for farm animals and their products in China [J]. *Food Control*, 2017, 79: 35–43.
- [23] WANG Q, LIU HJ, BAI Y, *et al.* Research progress on mutton origin tracing and authenticity [J]. *Food Chem*, 2022, 373: 131387.
- [24] 赵汝婷. 地理标志产品苏尼特羊肉的产地溯源研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2022.
- ZHAO RT. Chinese academy of agricultural sciences thesis [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2022.
- [25] WANG Q, LIU HJ, 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.
- [26] 郭利攀, 龚立科, 俞琰全, 等. 东海经济鱼类的多元素分析及产地判别[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(1): 214–221.
- GUO LP, GONG LK, YU YL, *et al.* Multi-element analysis and geographical origin distinguishing for commercial fishes from east China sea [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2015, 15(1): 214–221.
- [27] 鹿保鑫, 马楠, 王霞, 等. 基于电感耦合等离子体质谱仪分析矿物元素含量的大豆产地溯源[J]. *食品科学*, 2018, 39(8): 288–294.
- LU BX, MA N, WANG X, *et al.* Tracing the geographical origin of soybeans based on inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) analysis of mineral elements [J]. *Food Sci*, 2018, 39(8): 288–294.
- [28] 李艳敏, 张立严, 狄红梅. 主成分和判别分析在清香型白酒产地溯源中的应用[J]. *中国酿造*, 2018, 37(1): 145–148.
- LI YM, ZHANG LY, DI HM. Application of principal component analysis and discriminant analysis in origin traceability of light-flavor Baijiu [J]. *China Brew*, 2018, 37(1): 145–148.
- [29] 孙淑敏. 羊肉产地指纹图谱溯源技术研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2012.
- SUN SM. Study on geographical origin traceability techniques of lamb meat based on fingerprint analysis [D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2012.
- [30] 马梦斌, 罗瑞明, 李亚蕾. 基于矿物元素指纹差异的不同产地滩羊肉判别[J]. *食品科学*, 2020, 41(6): 316–321.
- MA MB, LUO RM, LI YL. Discrimination of different geographical origins of tan sheep meat based on mineral element fingerprints [J]. *Food Sci*, 2020, 41(6): 316–321.

(责任编辑: 于梦娇 韩晓红)

## 作者简介



王柏辉, 高级工程师, 主要研究方向为肉品科学。

E-mail: wbhsmile@126.com