

苏尼特羊肉氨基酸组成及与其他羊肉的对比分析

李春冬^{1,2,3}, 张建喆¹, 孙建萌¹, 赵瑜洁¹, 牛慧敏¹, 郭梁^{1,2,3*}

[1. 锡林郭勒职业学院, 锡林浩特 026000; 2. 锡林郭勒职业学院生物工程研究院, 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]

摘要: **目的** 分析苏尼特羊肉氨基酸组成以及与其他羊肉氨基酸组成进行对比分析。**方法** 以锡林郭勒放牧型苏尼特羊肉、乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉以及两个区域舍饲型小尾寒羊肉为研究对象, 通过氨基酸自动分析仪测定不同样品中氨基酸组成和含量, 并进行比较分析。**结果** 苏尼特羊肉的水解氨基酸和游离氨基酸含量显著高于乌珠穆沁羊肉和察哈尔羊肉($P<0.05$); 苏尼特羊肉的水解氨基酸含量与舍饲型小尾寒羊肉无显著差异($P>0.05$), 但是其游离氨基酸含量显著高于舍饲型小尾寒羊肉。5种羊肉必需氨基酸/非必需氨基酸均高于60%, 必需氨基酸/总氨基酸在40%左右, 符合联合国粮农组织/世界卫生组织(United Nations Food Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)人体理想蛋白质模式。**结论** 苏尼特羊肉水解氨基酸和游离氨基酸组成丰富, 含量较高, 具有较高营养价值和食用品质。

关键词: 苏尼特羊肉; 游离氨基酸; 水解氨基酸; 风味氨基酸

Analysis of amino acid composition of Sunit mutton and comparison with other mutton

LI Chun-Dong^{1,2,3}, ZHANG Jian-Zhe¹, SUN Jian-Meng¹, ZHAO Yu-Jie¹,
NIU Hui-Min¹, GUO Liang^{1,2,3*}

[1. Xilingol Vocational College, Xilinhot 026000, China; 2. Institute of Bioengineering, Xilingol Vocational College, Xilinhot 026000, China; 3. Xilingol Food Science and Testing Experimental Center (Xilingol Agricultural and Animal Products Testing Center), Xilinhot 026000, China]

ABSTRACT: Objective To analyze amino acid composition of Sunit mutton and compare with that of other mutton. **Methods** Taking Xilingol grazing Sunit mutton, Uzhumuqin mutton, Chahar mutton and 2 regional small tail Han sheep as the research objects, amino acid composition and content of different samples were determined by automatic amino acid analyzer, and comparative analysis was conducted. **Results** The content of hydrolyzed amino acid and free amino acid of Sunit mutton was significantly higher than those of Ujimqin mutton and Chahar mutton ($P<0.05$). The hydrolyzed amino acid content of Sunit mutton was not significantly different from that of the small

基金项目: 2022 年职业教育教学能力提升地方专项、锡林郭勒盟博士教学科研项目(XMB202301)、锡林郭勒职业学院重点科研项目(ZD-2022-05)

Fund: Supported by the 2022 Local Special Project on Improving Vocational Education Teaching Ability, the Xilingol Doctoral Teaching and Research Project (XMB202301), and the Scientific Research Project of Xilingol Vocational College (ZD-2022-05)

***通信作者:** 郭梁, 副研究员, 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。Email: herdman86@163.com

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

tail Han sheep ($P>0.05$), but the free amino acid content of Sunit mutton was significantly higher than that of the small tail Han sheep. The essential amino acids/non-essential amino acids of 5 kinds of muttons were higher than 60%, and the essential amino acids/total amino acids were about 40%, which conformed to the ideal protein model of the United Nations Food Agriculture Organization/World Health Organization (FAO/WHO). **Conclusion** Sunit mutton is rich in hydrolyzed amino acids and free amino acids, and has high nutritional value and edible quality.

KEY WORDS: Sunit mutton; free amino acid; hydrolyzed amino acid; flavour amino acid

0 引言

内蒙古锡林郭勒大草原拥有 18 万平方公里的优质天然草场, 平均海拔在 1000 m 左右, 是中国四大草原之一, 也是我国唯一被联合国教育、科学及文化组织纳入“国际生物圈保护区”的草原, 天然的草原培育了苏尼特羊和乌珠穆沁羊^[1-2]。苏尼特羊肉以肉质鲜美、口感细嫩、多汁而无膻味、味道浓郁独特、营养价值高、纯天然、无污染而享誉世界, 被誉为“肉中珍品”, 深受消费者的青睐^[3-5]。随着我国城乡经济的快速发展和居民收入的显著提高, 饮食结构也由温饱型转向营养型, 人们对肉的品质和营养价值有了更高要求^[6]。羊肉含有丰富的蛋白质, 且胆固醇含量较牛肉和猪肉低, 成为人们膳食的重要组成^[7]。

蛋白质是人的细胞、组织、器官和酶的重要组成部分, 在人体营养和生理上占有重要地位^[8]。氨基酸是蛋白质的构建模块, 是评价肉及肉制品营养价值的主要因素, 也是其风味的主要贡献者^[9]。肉中氨基酸含量及组成是评价蛋白质营养价值高低的主要因素, 直接影响到肉中蛋白质的营养价值^[10]。氨基酸根据人体自身是否可以合成分为必需氨基酸(essential amino acid, EAA)和非必需氨基酸(non-essential amino acid, NEAA)两大类, 其中 EAA 有 8 种, 分别是苏氨酸、缬氨酸、蛋氨酸(又名甲硫氨酸)、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸和色氨酸, 其余为 NEAA。根据 2011 年联合国粮农组织/世界卫生组织(United Nations Food Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)的建议, EAA/总氨基酸(total amino acid, TAA)应在 40%左右, EAA/NEAA 应在 60%以上^[11-12]。除此之外。氨基酸还分为药用氨基酸(drug-effective amino acids, DAA)和呈味氨基酸。DAA 分别为亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、酪氨酸和精氨酸^[13]。肉类的风味是由呈味氨基酸贡献的, 通常分为甜味氨基酸(sweet amino acid, SAA)、苦味氨基酸(bitter amino acid, BAA)和鲜味氨基酸(umami amino acid, UAA)^[14], 羊肉中 SAA 有 6 种, 分别是 EAA 中的苏氨酸和赖氨酸, NEAA 中的脯氨酸、丙氨酸、甘氨酸和丝氨酸; 羊肉中 UAA 有 5 种, 分别是 EAA 中的异亮氨酸, NEAA 中的天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸^[15]; 羊肉中 BAA 有 7 种, 分别是 EAA 中的缬氨酸、甲硫氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和苯丙氨酸, NEAA 中的组氨酸

和精氨酸^[16]。动物机体的氨基酸构成不仅与品种有关, 还受饲养因素、环境因素、地区因素和内在因素等影响^[17-19]。查娜^[20]检测新巴尔虎旗与其他 7 个地区羊肉氨基酸组成成分和含量, 发现新巴尔虎旗羊肉中 EAA 和 UAA 含量均高于其他地方; 吕永锋等^[21]通过检测 5 月龄滩羊和湖羊背最长肌氨基酸组成成分和含量, 发现两种羊肉甘氨酸和丙氨酸差异性显著。目前, 虽然对羊肉氨基酸相关研究报道较多, 但对苏尼特羊肉氨基酸的研究较少, 仅有刘文营等^[22]以宁夏滩羊、苏尼特羊、察哈尔羊和内蒙地区市售羊肉为研究对象, 对其氨基酸含量进行分析。缺乏苏尼特羊肉氨基酸量化数据以及与其他种类羊肉的比较分析。因此, 本研究以锡林郭勒放牧型苏尼特羊肉、乌珠穆沁羊肉、察哈尔羊肉以及舍饲小尾寒羊肉为研究对象, 分析不同品种和饲养条件下羊肉的氨基酸组成和含量, 采用主成分分析对其进行综合评价分析, 旨在为苏尼特羊肉品质提供基础数据参考、为其高质量发展夯实科学基础。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

试验材料为放牧锡林郭勒羊: 苏尼特羔羊前腿($n=25$)、乌珠穆沁羔羊前腿($n=27$)和察哈尔羔羊前腿($n=25$); 舍饲巴彦淖尔小尾寒羊羔羊前腿(下文简称为巴盟小尾寒羊)($n=24$)和甘肃省武威市民勤小尾寒羊羔羊前腿(下文简称为甘肃小尾寒羊)($n=30$)。所选羊均为 6 月龄, 解剖剥离羔羊前腿肌肉外部脂肪, 取精瘦肉用粉碎机粉碎制样。

氨基酸标准混合溶液(胱氨酸为 1.25 $\mu\text{mol/mL}$, 其余氨基酸均为 2.5 $\mu\text{mol/mL}$, 德国赛卡姆公司); 盐酸、氢氧化钠、柠檬酸钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 甲醇、乙腈[色谱纯, 赛默科技(中国)有限公司]。

1.2 仪器与设备

S-433D 型全自动氨基酸分析仪(德国赛卡姆公司); HSC-24B 型氮吹仪(天津市恒奥科技发展有限公司); MS105 型万分位电子天平(瑞士梅特勒托利多仪器有限公司)。

1.3 试验方法

粉碎的肉样经干燥、脱脂后, 用 6 mol/L HCl 酸解处理, 用 S-433D 型全自动氨基酸分析仪测定。

1.4 数据处理

试验数据采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析和主成分分析并采用 GraphPad prism 8.0.1 进行图像绘制, 最终结果表示为平均值±标准偏差。

2 结果与分析

2.1 水解氨基酸分析

以放牧锡林郭勒苏尼特羊、乌珠穆沁、察哈尔羊和舍饲湖羊、小尾寒羊为研究对象, 研究不同品种和不同饲养条件羊肉中总水解氨基酸含量的变化规律, 结果如表 1 所示, 被测的 5 种放牧羊肉中 EAA 和 NEAA 种类丰富, 均检测到苏氨酸、缬氨酸、甲硫氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸 7 种 EAA; 天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸和脯氨酸 9 种 NEAA。

2.1.1 不同放牧品种羊肉氨基酸结果分析

EAA 组成和含量是衡量富含蛋白质食物优劣的重要指标^[23]。由图 1A 可知, 苏尼特羊肉中苏氨酸含量显著高于察哈尔羊, 察哈尔羊显著高于乌珠穆沁羊($P<0.05$); 苏尼特羊肉中缬氨酸含量显著高于察哈尔羊和乌珠穆沁羊($P<0.05$); 苏尼特羊肉中甲硫氨酸含量显著高于察哈尔羊和乌珠穆沁羊($P<0.05$); 苏尼特羊肉中异亮氨酸含量显著高于察哈尔羊和乌珠穆沁羊($P<0.05$); 苏尼特羊肉中亮氨

酸含量显著高于察哈尔羊和乌珠穆沁羊($P<0.05$); 苏尼特羊肉中赖氨酸含量显著高于察哈尔羊和乌珠穆沁羊($P<0.05$); 3 种放牧羊肉中苯丙氨酸含量差异不显著, 由高到低分别为苏尼特羊、察哈尔羊、乌珠穆沁羊($P>0.05$)。苏尼特羊肉各 EAA 含量与远辉等^[24]报道的吐鲁番黑羊和阿勒泰羊 EAA 含量略相似, 且苏尼特羊肉略高于后者。

NEAA 结果由图 1B 可知, 苏尼特羊肉中天冬氨酸和谷氨酸显著高于察哈尔羊、乌珠穆沁羊($P<0.05$); 苏尼特羊肉和察哈尔羊肉的丝氨酸显著高于乌珠穆沁羊($P<0.05$); 3 种放牧羊肉甘氨酸、丙氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸和脯氨酸差异性不显著($P>0.05$)。

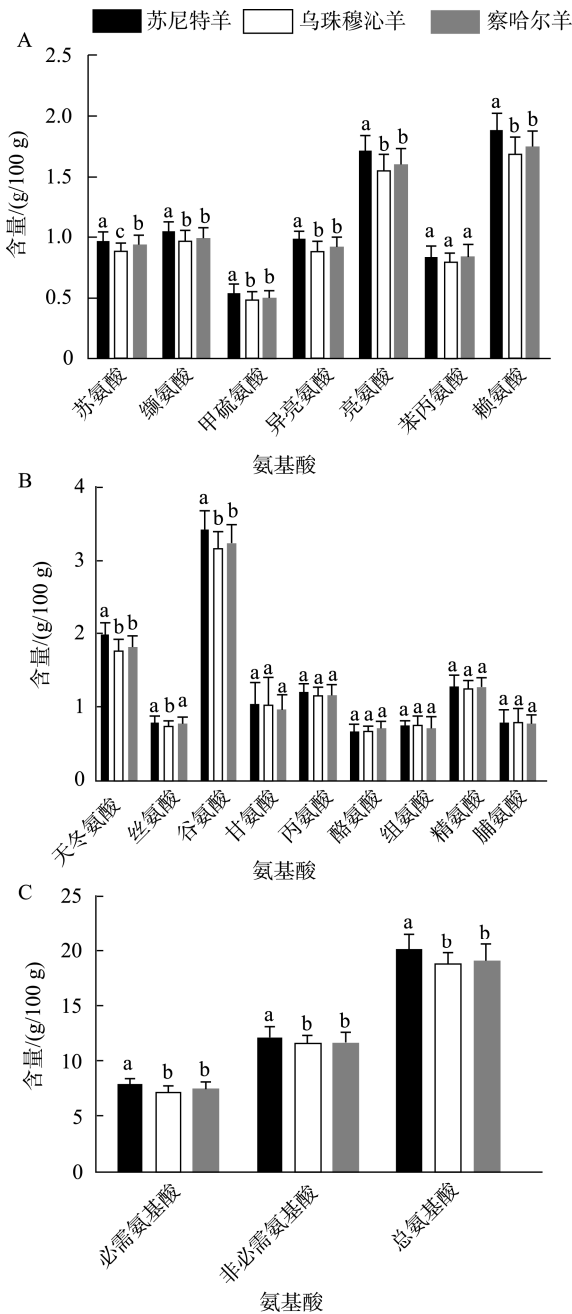
人体 EAA 和 NEAA 的水平是决定蛋白质营养价值主要因素, 也与肉的品质有关^[25]。由图 1C 和表 1 可知, 苏尼特羊、乌珠穆沁羊和察哈尔羊肉 EAA 含量分别为 8.00579、7.31450 和 7.51617 g/100 g; NEAA 分别为 12.15929、11.54450 和 11.63338 g/100 g; TAA 分别为 20.16507、18.85901、19.14955 g/100 g, 且均为苏尼特羊肉高于乌珠穆沁羊肉和察哈尔羊肉; 苏尼特羊 EAA/NEAA 和 EAA/TAA 均为最高, 达 65.841%和 39.701%, 察哈尔羊肉次之为 64.609%和 39.250%, 乌珠穆沁羊最低为 63.359%和 38.785%, 表明 3 种放牧羊肉均含有优质蛋白, 此结果与字品文等^[26]报道的云南黑山羊肉相似。

表 1 水解氨基酸测定结果(g/100 g)
Table 1 Hydrolyzed amino acid determination results (g/100 g)

氨基酸	苏尼特羊	乌珠穆沁羊	察哈尔羊	巴盟小尾寒羊	甘肃小尾寒羊
苏氨酸 Thr	0.97520±0.06624 ^a	0.89079±0.05726 ^b	0.93115±0.07611 ^a	0.97163±0.06616 ^a	0.95961±0.09238 ^a
缬氨酸 Val	1.06060±0.06482 ^a	0.97342±0.07305 ^b	0.99081±0.08346 ^b	1.06566±0.07855 ^a	0.96430±0.09928 ^b
甲硫氨酸 Met	0.53754±0.06290 ^a	0.48573±0.05203 ^b	0.49341±0.05164 ^b	0.52257±0.08308 ^{ab}	0.51602±0.09238 ^{ab}
异亮氨酸 Ile	0.99063±0.07014 ^a	0.88973±0.07456 ^b	0.91528±0.07767 ^b	0.97922±0.06648 ^a	0.90442±0.08901 ^b
亮氨酸 Leu	1.73414±0.11345 ^a	1.56858±0.11571 ^b	1.59895±0.12221 ^b	1.74078±0.11832 ^a	1.67350±0.15808 ^a
苯丙氨酸 Phe	0.84017±0.07477 ^a	0.80371±0.05883 ^a	0.83686±0.09699 ^a	0.84388±0.06901 ^a	0.80571±0.10522 ^a
赖氨酸 Lys	1.90621±0.12396 ^a	1.70254±0.12415 ^b	1.74972±0.12206 ^b	1.87530±0.13043 ^a	1.87276±0.22386 ^a
天冬氨酸 Asp	2.01344±0.13672 ^a	1.79652±0.11479 ^b	1.83788±0.12176 ^b	1.99195±0.13605 ^a	1.95305±0.19010 ^a
丝氨酸 Ser	0.83412±0.05538 ^{ab}	0.77783±0.03709 ^c	0.80909±0.06438 ^{bc}	0.82914±0.05723 ^{ab}	0.85946±0.08450 ^a
谷氨酸 Glu	3.45192±0.23159 ^a	3.16921±0.21710 ^b	3.24661±0.22275 ^b	3.39090±0.22941 ^a	3.39362±0.32813 ^a
甘氨酸 Gly	1.08282±0.29424 ^b	1.05971±0.35288 ^b	0.98808±0.17566 ^b	1.02215±0.17057 ^b	1.29798±0.60057 ^a
丙氨酸 Ala	1.23998±0.10076 ^{ab}	1.17743±0.08716 ^b	1.19117±0.11159 ^b	1.20666±0.09969 ^b	1.29139±0.22928 ^a
酪氨酸 Tyr	0.68652±0.07893 ^a	0.69064±0.05813 ^a	0.72944±0.08846 ^a	0.69344±0.05339 ^a	0.69514±0.11415 ^a
组氨酸 His	0.76943±0.06139 ^{ab}	0.77290±0.11833 ^{ab}	0.73871±0.13392 ^b	0.73873±0.06250 ^b	0.81258±0.16954 ^a
精氨酸 Arg	1.32343±0.12272 ^b	1.27879±0.08878 ^b	1.29723±0.09979 ^b	1.30984±0.11566 ^b	1.43423±0.20065 ^a
脯氨酸 Pro	0.84924±0.15118 ^b	0.82148±0.17489 ^b	0.79518±0.10641 ^b	0.78011±0.08812 ^b	0.95338±0.31021 ^a
EAA	8.00579±0.51469 ^a	7.31450±0.50354 ^c	7.51617±0.57207 ^{bc}	7.95271±0.5536 ^a	7.64932±0.86195 ^{ab}
NEAA	12.15929±0.8799 ^{ab}	11.54450±0.68587 ^b	11.63338±0.91405 ^b	11.96292±0.86263 ^b	12.42345±1.91069 ^a
TAA	20.16507±1.28983 ^a	18.85901±0.91966 ^c	19.14955±1.44887 ^{bc}	19.91563±1.36758 ^{ab}	20.07277±2.62796 ^a
EAA/NEAA	65.841%	63.359%	64.609%	66.865%	60.645%
EAA/TAA	39.701%	38.785%	39.250%	40.071%	37.751%

注: 同行肩标的不同字母表示数据差异性, 相同字母表示差异性不显著($P>0.05$), 不同字母表示差异性显著($P<0.05$), 下同。

综合以上数据发现,放牧羊肉 EAA、NEAA 和 TAA 均表现为苏尼特羊较察哈尔羊和乌珠穆沁羊高,而察哈尔羊和乌珠穆沁羊之间差异性不明显。



注: 相同字母表示组内差异性不显著($P>0.05$), 不同字母表示组内差异性显著($P<0.05$), 下同。

图 1 不同放牧品种氨基酸含量

Fig.1 Amino acid content of different grazing varieties

2.1.2 苏尼特羊与舍饲小尾寒羊肉氨基酸结果分析

由图 2A 可知苏尼特羊和巴盟小尾寒羊肉中缬氨酸含量显著高于甘肃小尾寒羊($P<0.05$); 苏尼特羊和巴盟小尾寒羊肉中异亮氨酸显著高于甘肃小尾寒羊($P<0.05$); 巴

盟小尾寒羊与甘肃小尾寒羊肉中苏氨酸、甲硫氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸与苏尼特羊肉间差异性不显著($P>0.05$)。

NEAA 结果由图 2B 可知, 甘肃小尾寒羊肉中甘氨酸、精氨酸和脯氨酸分别为 1.29798、1.43423 和 0.95338 g/100 g, 显著高于苏尼特羊和巴盟小尾寒羊($P<0.05$); 甘肃小尾寒羊肉中组氨酸为 0.81258 g/100 g, 显著高于巴盟小尾寒羊的 0.73871 g/100 g ($P<0.05$), 且与苏尼特羊无显著差异($P>0.05$); 巴盟小尾寒羊与甘肃小尾寒羊肉中天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、酪氨酸分别为 1.99195 和 1.95305 g/100 g、0.82914 和 0.85946 g/100 g、3.3909 和 3.39362 g/100 g、1.20666 和 1.29139 g/100 g、0.69344 和 0.69514 g/100 g, 且与苏尼特羊肉间差异性不显著($P>0.05$)。

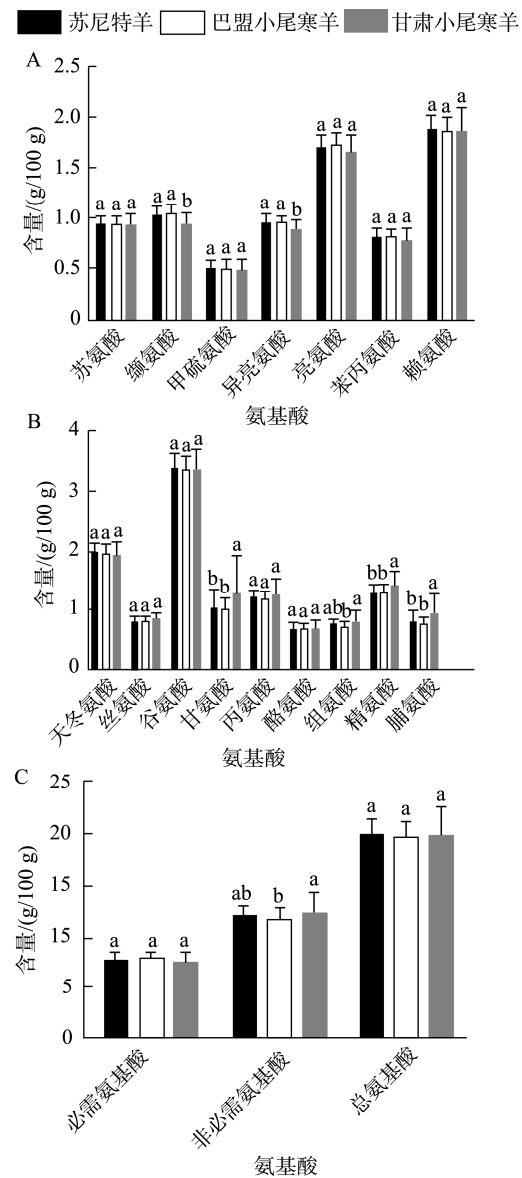


图 2 苏尼特羊与小尾寒羊氨基酸含量

Fig.2 Amino acid content of Sunit sheep and small tail Han sheep

由图 2C 和表 1 可知, 苏尼特羊肉中 EAA 与巴盟小尾寒羊(7.95271 g/100 g)和甘肃小尾寒羊(7.64932 g/100 g)无显著差异($P>0.05$); 甘肃小尾寒羊 NEAA (12.42345 g/100 g)显著高于巴盟小尾寒羊的 11.96292 g/100 g ($P<0.05$), 且与苏尼特羊无显著差异($P>0.05$); 苏尼特羊肉中 TAA 与巴盟小尾寒羊(19.91563 g/100 g)和甘肃小尾寒羊(20.07277 g/100 g)无显著差异($P>0.05$); 巴盟小尾寒羊 EAA/NEAA 和 EAA/TAA 均为最高, 达 66.865%和 40.071%, 苏尼特羊次之, 甘肃小尾寒羊最低为 60.645%和 37.751%。综合以上数据发现, 苏尼特羊肉 EAA、NEAA 和 TAA 含量与舍饲巴盟小尾寒羊和甘肃小尾寒羊, 差异性不明显。

2.1.3 不同品种羊肉 DAA 及呈味氨基酸结果分析

DAA 是维持机体氮平衡和具有辅助治疗疾病功能的氨基酸^[27]。由图 3A、B 可知, 苏尼特羊、乌珠穆沁羊、察哈尔羊、巴盟小尾寒羊和甘肃小尾寒羊 DAA 含量分别为 12.96093、12.06970、12.28476、12.86824 和 12.89853 g/100 g, 其中放牧羊中苏尼特羊含量显著高于乌珠穆沁羊和察哈尔羊($P<0.05$), 且乌珠穆沁羊和察哈尔羊之间差异性不显著($P>0.05$); 苏尼特羊与舍饲巴盟小尾寒羊和甘肃小尾寒羊 DAA 无显著差异($P>0.05$), 且巴盟小尾寒羊和甘肃小尾寒羊之间差异性不显著($P>0.05$), 此结果与 EAA 和 NEAA 相同。

呈味氨基酸是肉类风味的主要贡献者之一^[28]。由表 2 可知, 大部分绵羊品种的呈味氨基酸含量由高到低顺序为: BAA、SAA 和 UAA, 总呈味氨基酸约占 TAA 的 96%以上, 在呈味氨基酸上贡献均较大, 此结果与王圆圆等^[29]研究结果一致。苏尼特羊 BAA 和 UAA 含量最高, 分别为 7.22564 和 5.43297 g/100 g; 甘肃小尾寒羊含量 SAA 最高, 为 7.23459 g/100 g, 乌珠穆沁羊含量较低为 6.42978 g/100 g。以上 5 种羊肉蛋白质中各风味氨基酸含量丰富, 特别是苏尼特羊肉 UAA 总量最高, 因此认为此是其味道鲜美的真实原因。同时 BAA 中苯丙氨酸可增强鲜味和 SAA 的呈味作用, 精氨酸可辅助提升鲜度^[30]。

2.1.4 羊肉 EAA 评分

羊肉中 EAA 评分是根据 2007 年联合国粮农组织/世界

卫生组织/联合国大学(Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization/United Nations University, FAO/WHO/UNU)推荐模式和鸡蛋中蛋白的 EAA 含量作为理想模式^[31]。EAA 评分公式为试验样品蛋白质中某种必须氨基酸的含量(mg/g)与 FAO 模式中同一种氨基酸含量(mg/g)的比值。锡林郭勒放牧乌珠穆沁、苏尼特羊、察哈尔羊和舍饲小尾寒羊肉 EAA 评分如表 3, 5 种羊肉中苏氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸及蛋氨酸+胱氨酸的含量比均超过理想蛋白质中相应的氨基酸, 且赖氨酸评分超理想蛋白质 3 倍多。

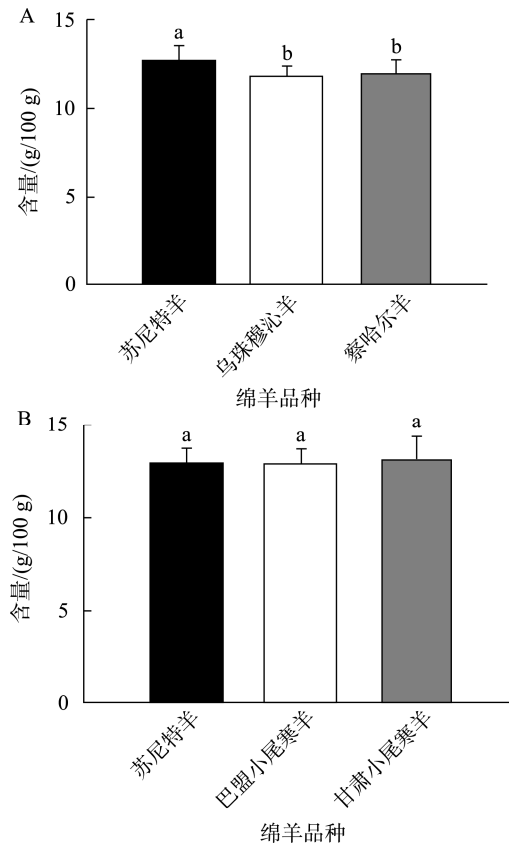


图 3 不同品种羊肉的 DAA 含量

Fig.3 DAA content of different mutton breeds

表 2 羊肉呈味氨基酸成分测定(g/100 g)
Table 2 Determination of flavor amino acid components in mutton (g/100 g)

氨基酸	苏尼特羊	乌珠穆沁羊	察哈尔羊	巴盟小尾寒羊	甘肃小尾寒羊
SAA	6.81586	6.42978	6.46439	6.68500	7.23459
BAA	7.22564	6.77286	6.87124	7.20068	7.11075
UAA	5.43297	4.96573	5.08449	5.38285	5.34667
总呈味氨基酸	19.47447	18.16836	18.42012	19.26852	19.69202
SAA/TAA	33.800%	34.094%	33.757%	33.489%	35.486%
BAA/TAA	35.832%	35.913%	35.882%	36.072%	34.879%
UAA/TAA	26.942%	26.331%	26.551%	26.966%	26.226%
FAA/TAA	96.575%	96.338%	96.191%	96.526%	96.590%

2.2 5 种羊肉氨基酸主成分分析

对 5 种羊肉中 16 种氨基酸进行主成分分析, 以特征值大于 1 为筛选原则, 提取 3 个主成分结果如表 4 所示。成分 1 的特征值为 8.708, 特征贡献率为 54.422%, 结合图 4 主成分组件图可知, 主要影响因子为组氨酸、异亮氨酸

和苏氨酸; 成分 2 的特征值为 5.868, 特征贡献率为 36.675%, 主要影响因子为脯氨酸、酪氨酸和亮氨酸; 成分 3 的特征值为 1.271, 特征贡献率为 7.944%, 主要影响因子为甘氨酸。3 个成分累计方差贡献率为 99.041%, 说明这 3 个主成分可对 5 种绵羊肉进行品质综合评价。

表 3 羊肉中 EAA 评分
Table 3 EAA scores in mutton

氨基酸	理想值/(mg/g)	苏尼特羊	乌珠穆沁羊	察哈尔羊	巴盟小尾寒羊	甘肃小尾寒羊
苏氨酸	40	242.917%	222.698%	232.788%	242.908%	239.903%
缬氨酸	50	210.695%	194.684%	198.161%	213.131%	192.861%
异亮氨酸	40	245.863%	222.432%	228.819%	244.806%	226.105%
亮氨酸	70	246.576%	224.083%	228.421%	248.683%	239.071%
赖氨酸	55	344.103%	309.552%	318.131%	340.964%	340.502%
苯丙氨酸 + 酪氨酸	60	231.934%	226.417%	237.318%	232.927%	227.401%
蛋氨酸 + 半胱氨酸	35	153.837%	138.781%	140.975%	149.307%	147.433%

注: 本试验中未检出半胱氨酸(Cys), 因此表格中蛋氨酸 + 半胱氨酸(Met+Cys)实际是蛋氨酸(Met)的数据。

表 4 氨基酸主成分的初始特征值及累积方差贡献率
Table 4 Initial eigenvalue and cumulative variance contribution of amino acid principal components

成份	初始特征值			提取载入平方和		
	合计	方差贡献率/%	累积贡献率/%	合计	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	8.708	54.422	54.422	8.708	54.422	54.422
2	5.868	36.675	91.097	5.868	36.675	91.097
3	1.271	7.944	99.041	1.271	7.944	99.041

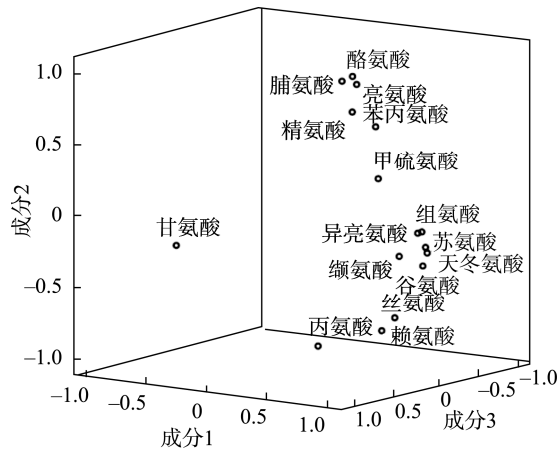


图 4 不同绵羊品种氨基酸主成分图
Fig.4 Amino acid principal composition diagram of different sheep breeds

2.3 羊肉中游离氨基酸分析

苏尼特羊肉的水解 EAA、NEAA 和 TAA 均高于其他放牧品种, 与两种舍饲型小尾寒羊肉总量相近。与水解氨基酸相比, 羊肉中游离氨基酸是其鲜味的直接来源, 也是

体现羊肉品质的重要指标^[32]。鉴于此, 本研究又对锡林郭勒草原放牧羊肉和两种舍饲小尾寒羊肉的两种游离氨基酸(天冬氨酸和谷氨酸)进行分析。如图 5 所示, 苏尼特羊肉中天冬氨酸和谷氨酸均高于乌珠穆沁羊肉和察哈尔羊肉, 并且放牧型的苏尼特羊肉的 UAA 明显高于舍饲型小尾寒羊肉。

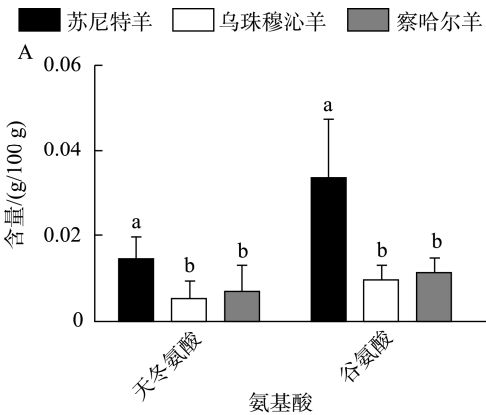


图 5 不同品种羊肉中游离氨基酸含量
Fig.5 Content of free amino acids in different mutton varieties

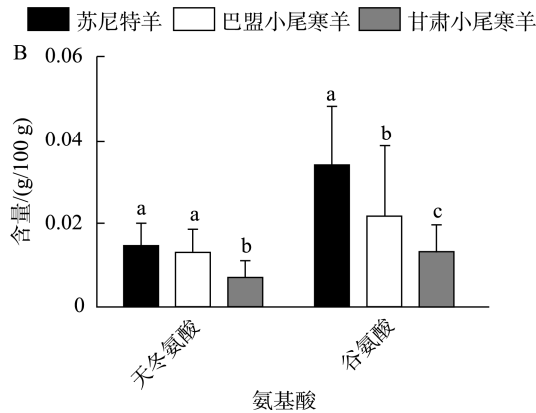


图 5(续) 不同品种羊肉中游离氨基酸含量
Fig.5 Content of free amino acids in different mutton varieties

3 讨论与结论

综合以上数据推测,苏尼特荒漠草原上植被覆盖度低、耐旱抗逆性植物种类多(葱属)导致苏尼特羊运动较多提高其蛋白含量(水解氨基酸含量)和游离 UAA 含量,较高含量的游离呈味氨基酸赋予其鲜美的滋味。上述推测与 BRITO 等^[33]报道放牧羊因牧草的种类、选择性采食和运动量等因素不同影响其氨基酸含量差异性显著的结果相符。苏尼特羊与舍饲巴盟小尾寒羊和甘肃小尾寒羊对比,其组成氨基酸(水解氨基酸)相当,推测虽然苏尼特羊运动更多,但是舍饲配合饲料营养更均衡利于积累蛋白质,而苏尼特羊运动以及多样化进食导致游离的呈味氨基酸高于舍饲,此推测与于丽娟等^[34]研究结果相符。

氨基酸是动物体内蛋白质合成的底物,因此肉制品中氨基酸的组成与含量是评价蛋白质优劣的基本参数^[35]。本研究以 3 种锡林郭勒放牧羊肉(苏尼特羊、乌珠穆沁羊、察哈尔羊)和 2 种舍饲小尾寒羊(巴盟小尾寒羊和甘肃小尾寒羊)为研究对象,研究不同饲养条件对羊肉氨基酸的影响。本研究利用自动氨基酸分析仪共检测出 16 种氨基酸,其中人体 EAA 7 种 and NEAA 9 种,结果表明 5 种羊肉氨基酸总量均在 18 g/100 g 以上,说明 5 种羊肉具有很高的营养价值;SAA、BAA、UAA 总和占 TAA 的比例超 96%;高于 12 g/100 g 的 DAA 含量为羊肉的进补功效提供了数据支持;羊肉中 EAA 评分均高于 FAO/WHO/UNU 理想模式,且赖氨酸评分超理想蛋白质 3 倍多属于高品质羊肉;两种游离氨基酸整体也表现为苏尼特羊显著高于其他 4 种羊,推测游离氨基酸与其风味存在内在联系。

参考文献

- [1] 肖芳. 锡林郭勒盟草原羊肉产业发展战略思考[J]. 肉类工业, 2016, (5): 53-56.
XIAO F. Strategy thinking of mutton industry development of Xilingol League grassland [J]. Meat Ind, 2016, (5): 53-56.
- [2] 张彦斌, 罗海海, 范鑫, 等. 锡林郭勒绵羊品种遗传多样性研究进展[J]. 中国畜禽种业, 2020, 16(3): 3-6.

- ZHANG YB, LUO HT, FAN X, *et al.* Advances in genetic diversity of Xilingol sheep breeds [J]. Chin Livest Poul Breed, 2020, 16(3): 3-6.
- [3] 王欢. 锡林郭勒羊肉:绵羊肉的标杆[J]. 农产品市场周刊, 2018, (24): 16-17.
WANG H. Mutton of Xilingol League: The benchmark of mutton [J]. Agric Prod Mark, 2018, (24): 16-17.
- [4] 宝力德, 乌兰苏克. 畜种改良中地方优良品种蒙古羊的保护与利用[J]. 甘肃畜牧兽医, 2016, 46(5): 114-115.
BAO LD, WU LSK. Protection and utilization of local excellent breed Mongolian sheep in breeding improvement [J]. Gansu Anim Husband Vet, 2016, 46(5): 114-115.
- [5] 王宏迪, 窦露, 王柏辉, 等. 乳酸菌对苏尼特羊生长性能、屠宰性能、肉品质及蛋白质代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(7): 4598-4609.
WAGN HD, DOU L, WAGN BH, *et al.* Effects of *Lactobacillus* on growth performance, slaughter performance meat quality and protein metabolism of Sunit sheep [J]. Chin J Anim Nutr, 2022, 34(7): 4598-4609.
- [6] 张俊丽, 施安, 李聚才, 等. 不同蛋白营养水平精补料对黄渠桥羊羔肉氨基酸含量的影响[J]. 饲料研究, 2019, 42(6): 4-8.
ZHANG JL, SHI AN, LI JC, *et al.* Effect of different protein nutrition levels on the amino acid content of Huangquqiao lamb meat [J]. Feed Res, 2019, 42(6): 4-8.
- [7] 杜成福. 内蒙古锡林郭勒羊肉产业发展战略研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2014.
DU CF. Research on development strategy of Xilingol mutton industry in inner Mongolia [D]. Hohhot: Inner Mongolia University, 2014.
- [8] 姜颖, 张普民, 贺福初. 人类蛋白质组计划研究现状与趋势[J]. 中国基础科学, 2020, 22(4): 1-6, 50.
JIANG Y, ZHANG PM, HE FC, *et al.* Research status and trends of human proteome project [J]. China Basic Sci, 2020, 22(4): 1-6, 50.
- [9] 郭焱, 胡宇超, 杨毅, 等. 复合营养素对羔羊生长性能、屠宰性能、肉品质及肌肉抗氧化能力的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2022, 58(10): 268-275.
GUO T, HU YC, YANG Y, *et al.* Effects of compound nutrients on growth performance, slaughter performance, meat quality and antioxidant index in muscle of lambs [J]. Chin J Anim Sci, 2022, 58(10): 268-275.
- [10] 刘丽宅, 翟子惠, 刘洪亮, 等. 沃金黑牛母牛与阉公牛牛肉品质比较及影响因素分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(21): 7004-7011.
LIU LZ, ZHANG ZH, LIU HL, *et al.* Meat quality comparison and influencing factors analysis of female cattle and steers of Woking black cattle [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(21): 7004-7011.
- [11] 李智, 周灿, 费华熙, 等. 液相色谱-串联质谱法测定畜禽肉和鸡蛋中氨基酸含量[J/OL]. 食品与发酵工业: 1-11. [2022-11-04]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031623
LI Z, ZHOU C, FEI HX, *et al.* Determination of amino acids in meat and eggs by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J/OL]. Food Ferment Ind:1-11. [2022-11-04]. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031623
- [12] 林香信, 颜孙安, 钱爱萍, 等. 花鳗鲡鱼体肌肉的氨基酸分析研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(29): 131-136.
LIN XX, YAN SAN, QIAN AP, *et al.* Amino acid analysis of *Anguilla marmorata* muscle [J]. Chin Agric Sci Bull, 2012, 28(29): 131-136.
- [13] 李春冬, 徐伟良, 郭梁. 锡林郭勒地区特种乳中氨基酸含量的比较研究[J]. 农业与技术, 2020, 40(24): 28-33.
LI CD, XU WL, GUO L. Comparative study on amino acid content of special milk in Xilingol area [J]. Agric Technol, 2020, 40(24): 28-33.
- [14] 哈斯额尔敦, 敖长金, 萨茹丽, 等. 内蒙古地区不同养殖草食动物背最长肌氨基酸组成及营养价值评价[J]. 肉类研究, 2022, 36(4): 1-6.
HA SERD, AO CJ, SA RL, *et al.* Evaluation of amino acid composition and nutritional value of longissimus doris from different farmed herbivores in

- Inner Mongolia region [J]. *Meat Res*, 2022, 36(4): 1–6.
- [15] 周力, 侯生珍, 雷云, 等. 不同精粗比饲料对青海黑藏羊肌肉营养组成的影响[J]. *草业科学*, 2022, 39(4): 762–769.
- ZHOU L, HOU SZ, LEI Y, *et al*. Effects of different concentrate to forage ratio diets on the nutrient composition of the muscle of Qinghai black Tibetan sheep [J]. *Pratacul Sci*, 2022, 39(4): 762–769.
- [16] 马龙, 尤汉宏, 党永庆, 等. 银川地区 3 种羊肉氨基酸组成及营养价值分析[J]. *农业科学研究*, 2020, 41(1): 28–32.
- MA L, YOU HH, DANG YQ, *et al*. Amino acids composition and nutrient value analysis of the longest muscle in 3 kinds of lamb in Yinchuan area [J]. *J Agric Sci*, 2020, 41(1): 28–32.
- [17] 齐珂珂, 门小明, 吴杰, 等. 饲养方式对“绿嘉黑”黑猪胴体性状、血液指标和肉品质的影响[J/OL]. *中国畜牧杂志*: 1–10. [2022-10-26]. DOI: 10.19556/j.0258-7033.20211217-03
- QI KK, MEN XM, WU J, *et al*. Effects of feeding methods on carcass traits, blood indexes and meat quality of “LvJiahei” black pigs [J/OL]. *Chin J Anim Sci*: 1–10. [2022-10-26]. DOI: 10.19556/j.0258-7033.20211217-03
- [18] 于小杰, 王净, 白园园, 等. 放牧与舍饲饲养方式对小尾寒羊肉品质的影响[J]. *畜牧兽医学报*, 2021, 52(8): 2223–2232.
- YU XJ, WANG J, BAI YY, *et al*. Effects of grazing and confinement feeding systems on the meat quality of smal-tailed han sheep [J]. *Chin J Anim Vet Sci*, 2021, 52(8): 2223–2232.
- [19] 闫祥林, 任晓璞, 刘瑞, 等. 饲养方式对新疆多浪羊肉品质的影响[J]. *食品科学*, 2018, 39(15): 80–87.
- YAN XL, REN XP, LIU R, *et al*. Effects of different feeding modes on meat quality of Duolang sheep [J]. *Food Sci*, 2018, 39(15): 80–87.
- [20] 查娜. 新巴尔虎右旗羊肉的氨基酸成分分析及评价[J]. *现代农业*, 2018, (5): 78–79.
- CHA N. Analysis and evaluation of amino acid components of Xinbahuyouqi mutton [J]. *Mod Agric*, 2018, (5): 78–79.
- [21] 吕永锋, 王燕燕, 王珂, 等. 湖羊与滩羊羔羊肉品质分析[J]. *家畜生态学*, 2021, 42(11): 49–53.
- LV YF, WANG YY, WANG K, *et al*. Meat quality analysis of Hu sheep and Tan sheep [J]. *J Domest Anim Ecol*, 2021, 42(11): 49–53.
- [22] 刘文营, 臧明伍, 李享, 等. 宁夏滩羊肉质属性及与内蒙古羊肉品质差异分析[J]. *中国食品学报*, 2021, 21(9): 314–327.
- LIU WY, ZANG MW, LI X, *et al*. Quality attribute and difference analysis of Ningxia Tan mutton and Inner Mongolian mutton [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2021, 21(9): 314–327.
- [23] 圣平, 何力, 张志红, 等. 饲喂中药渣对湖羊生长性能及肉质的影响[J]. *饲料研究*, 2019, 42(1): 1–5.
- SHENG P, HE L, ZHANG ZH, *et al*. Effects of feeding Chinese herb residues on growth performance and meat quality of Hu sheep [J]. *Feed Res*, 2019, 42(1): 1–5.
- [24] 远辉, 郝明明, 张煌涛, 等. 新疆两种产地羊肉中营养成分分析及评价[J]. *黑龙江畜牧兽医*, 2018, (1): 10–12.
- YUAN H, HAO MM, ZHAGN HT, *et al*. Analysis and evaluation of nutritional constituents in two kinds of lamb from Xinjiang [J]. *Heilongjiang Anim Sci Vet Med*, 2018, (1): 10–12.
- [25] 刘孟君, 扎西央宗, 尼珍, 等. 天然放牧条件下河谷型藏绵羊及其与萨福克羊杂交后代肉品质的比较[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(5): 3077–3095.
- LIU MJ, ZHA XYZ, NI Z, *et al*. Comparison of meat quality of valley-type Tibetan sheep and its hybrid progeny with Suffolk sheep under natural grazing condition [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2022, 34(5): 3077–3095.
- [26] 字品文, 江炎庭, 相德才, 等. 云南黑山羊羊肉品质的研究[J]. *中国草食动物科学*, 2017, 37(5): 21–25.
- ZI PW, JIANG YT, XIANG DC, *et al*. Study on meat quality traits for Yunnan black goat [J]. *China Herb Sci*, 2017, 37(5): 21–25.
- [27] 师丰丰, 周金慧, 孙丽萍, 等. 尼勒克县不同产区的新疆黑蜂蜂蜜理化性质与营养成分分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(13): 66–73.
- SHI FF, ZHOU JH, SUN LP, *et al*. Physicochemical properties and nutritional components of Xinjiang black bee honey in Nilka County [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(13): 66–73.
- [28] 马黎, 聂靖茹, 鲁绍雄, 等. 迪庆藏猪与野藏杂交猪肌肉全谱游离氨基酸味道强度值比较[J]. *中国畜牧兽医*, 2021, 48(4): 1275–1283.
- MA L, NIE JR, LU SX, *et al*. Comparison of the taste activity value of full spectrum free amino acidin muscle of Diqing Tibetan pig and wild boarx Diqing Tibetan pig [J]. *Chin J Vet Med*, 2021, 48(4): 1275–1283.
- [29] 王圆圆, 李新森, Heshuote Mailisi, 等. 内蒙古寒冷草原繁育的黑安格斯牛肌肉中氨基酸分析[J]. *中国畜牧杂志*, 2021, 57(4): 216–220, 226.
- WAGN YY, LI XM, HESHUOTE M, *et al*. In the muscle of black Angus cattle bred in the cold grasslands of Inner Mongolia amino acid analysis [J]. *Chin J Anim Sci*, 2021, 57(4): 216–220, 226.
- [30] 刘伟, 张群, 李志坚, 等. 不同品种黄花菜游离氨基酸组成的主成分分析及聚类分析[J]. *食品科学*, 2019, 40(10): 243–250.
- LIU W, ZHANG Q, LI ZJ, *et al*. Principal component analysis and cluster analysis for evaluating free amino acids of different cultivars of daylily buds [J]. *Food Sci*, 2019, 40(10): 243–250.
- [31] 金春爱, 崔松焕, 宋超, 等. 不同加工方式下不同部位梅花鹿肉中氨基酸的含量分析[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(8): 68–75.
- JIN CAI, CUI SH, SONG C, *et al*. Content analysis of amino acids in different processing methods and different parts of Sika deer meat [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2022, 43(8): 68–75.
- [32] 陈雪, 梁克红, 朱宏, 等. 游离氨基酸检测方法及其应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(18): 7298–7304.
- CHEN X, LIANG KH, ZHU H, *et al*. Analysis method and application of free amino acids [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(18): 7298–7304.
- [33] BRITO GF, MCGRATH SR, HOLMAN BW, *et al*. The effect of forage type on lamb carcass traits, meat quality and sensory traits [J]. *Meat Sci*, 2016, 119: 95–101.
- [34] 于丽娟, 阿米妮古丽, 张艳花, 等. 放牧与舍饲条件下巴音布鲁克羊肉品质分析[J]. *中国畜牧杂志*, 2022, 58(11): 293–297.
- YU LJ, A MINEGURI, ZHANG YH, *et al*. Quality analysis of Bayanbulak mutton under grazing and house feeding conditions [J]. *Chin J Anim Sci*, 2022, 58(11): 293–297.
- [35] 梁鹏, 张天闻, 张稳, 等. 宁夏地区 4 个绵羊群体肌肉营养成分和风味物质差异性分析[J]. *西南农业学报*, 2021, 34(4): 889–898.
- LIANG P, ZHANG TW, ZHANG W, *et al*. Analysis on differences of muscle nutritional components and flavor substances of four sheep groups in Ningxia [J]. *Southwest China J Agric Sci*, 2021, 34(4): 889–898.

(责任编辑: 黄周梅 于梦娇)

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, 副研究员, 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