



## 不同性别放牧青海黑藏羊的肉品质特征分析

康生萍<sup>1,2</sup>, 胡林勇<sup>1</sup>, 王循刚<sup>1,2</sup>, 张晓玲<sup>1,2</sup>,  
赵娜<sup>1</sup>, 徐田伟<sup>1</sup>, 刘宏金<sup>1,2</sup>, 徐世晓<sup>1</sup>

(1.中国科学院西北高原生物研究所,高原生物适应与进化重点实验室,西宁 810008;2.中国科学院大学,北京 100049)

**摘要** 为了解自然放牧条件下青海黑藏羊的肉品质特征及性别间的差异,选取12月龄放牧青海黑藏羊母羊、公羊和羯羊各5只,测定分析其屠宰性能、背最长肌的肉品质指标及氨基酸、微量元素和脂肪酸含量。结果表明:12月龄放牧青海黑藏羊屠宰率为41.05%,背最长肌的pH处于鲜肉范围,熟肉率为54.44%,含有锌、硒等元素,鲜味氨基酸含量达38.40%,共检测到32种脂肪酸,均含有 $\alpha$ -亚麻酸、二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)等 $\omega$ -3系列脂肪酸;性别对青海黑藏羊的屠宰性能无显著影响;此外,羯羊色度指标均极显著高于母羊,背最长肌的总氨基酸和赖氨酸含量显著高于母羊和公羊,鲜味氨基酸含量显著高于母羊,苏氨酸含量显著高于公羊;母羊背最长肌中铁和硒元素含量显著高于公羊和羯羊;公羊背最长肌的粗灰分和镁元素含量显著高于羯羊,多不饱和脂肪酸含量显著高于母羊。上述结果表明,放牧青海黑藏羊母羊肉的矿物质含量更高,公羊肉的多不饱和脂肪酸含量更高,羯羊在肉色和氨基酸含量方面更具有优势。

**关键词** 青海黑藏羊;性别;屠宰性能;肉品质;营养特征

中图分类号 S826

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2021)02-0183-09

青海黑藏羊又称贵德黑裘皮羊,是青海藏羊的一个重要经济类群,也是中国宝贵的地方品种资源,集中分布于青海省海南藏族自治州贵南县,继2015年成功注册“贵南黑藏羊”地理标志证明商标后,又于2017年成为了国家地理标志产品。青海黑藏羊体质结实,肌肉、骨骼发达,游走速度快,采食能力强,最主要的特点为毛色出生时为纯黑色,随着年龄增长而逐渐改变,成年羊的毛色主要为黑微红色、黑红色和灰色<sup>[1]</sup>。青海黑藏羊以生产黑色二毛裘皮著称,毛色黝黑发亮,有环形、半环形、波浪形卷花,羔皮极为珍贵。1958年青海黑藏羊种群数量多达20万只,受市场冲击等因素的影响,种群数量锐减,曾一度降至5000只左右,目前处于保种阶段,近年来经各级政府及地方的努力,数量逐渐增至1.5万余只。为改变产业现状,从生产裘皮向肉用转型,开发特色畜产品,鼓励广大农牧民参与到种羊保护中,以保护促发展,以发展促保护,调动农牧民的养殖积极性对青海黑藏羊特色畜牧业发展具有重要意义。目前,

围绕藏系绵羊饲养模式<sup>[2-3]</sup>、营养需求<sup>[4]</sup>、屠宰性能以及肉品质<sup>[5]</sup>等方面进行了大量研究,但对青海特色资源青海黑藏羊的肉品质特征研究十分匮乏。本文以不同性别的放牧青海黑藏羊为研究对象,通过相关指标的测定,评价青海黑藏羊的肉质状况和营养特征,为青海黑藏羊的特色畜牧业发展提供数据支撑。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验羊只和试验区概况

试验羊只均为青海省贵南县自然放牧的12月龄青海黑藏羊,放牧草场平均海拔3300m,草地类型以高寒草甸和高寒草原为主,主要的优势牧草有矮嵩草(*Kobresia humilis*)、线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)、针茅(*Stipa capillata* Linn)和早熟禾(*Poa annua* L)等。青海天然草地牧草具有粗蛋白质、粗脂肪和无氮浸出物含量高,粗纤维含量低的特点<sup>[6]</sup>。本研究选取体况相近,健康状况良好的母羊、公羊和羯羊各5只,按

收稿日期:2020-03-20 修回日期:2020-06-14

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0501905);青海省科技支撑项目(2019-SF-149,2019-NK-173)。

第一作者:康生萍,女,硕士研究生,研究方向为放牧家畜生态学。E-mail:kangsp@nwpb.cas.cn

通信作者:徐世晓,男,研究员,研究方向为放牧家畜生态学。E-mail:sxxu@nwpb.cas.cn

照当地清真屠宰方式屠宰,宰前禁食 24 h,禁水 2 h,并分别称量宰前活质量和胴体质量。屠宰后取背最长肌进行相关指标检测,现场测定宰后 45 min 时的 pH 和色度指标,然后将肉样置于车载冰箱,立即带回实验室进行后续处理与测定。

## 1.2 指标检测方法

1.2.1 屠宰率 根据屠宰时称量的宰前活质量和胴体质量,计算屠宰率。

$$\text{屠宰率} = (\text{胴体质量} / \text{宰前活质量}) \times 100\%$$

1.2.2 pH 和肉色 pH 采用手持式肌肉酸度仪测定,将酸度计探针插入背最长肌肉样中,分别测定宰后 45 min 和 24 h 的 pH,每个样品重复测定 3 次,取平均值。

肉色的亮度( $L^*$ )、红度( $a^*$ )和黄度( $b^*$ )值采用手持式肉色仪在宰后 45 min 时测定,每个样品重复测定 3 次,取平均值。

1.2.3 嫩度 采用数显式肌肉嫩度仪测定沿肉样肌纤维垂直方向切成的(1×1×2) cm 肉块的剪切力,每个样品测定 3 次,取平均值。

1.2.4 熟肉率 将背最长肌中段剔除筋膜和表面脂肪后称量生肉质量,置于 1 000 W 的蒸锅蒸屉上沸水蒸煮 15 min,取出冷却 30 min 后,用吸水纸沾干表面水分并再次称量,计算熟肉率。

$$\text{熟肉率} = (\text{煮后肉样质量} / \text{煮前肉样质量}) \times 100\%$$

1.2.5 滴水损失 将背最长肌肉样切割为(5×3×2)cm 的肉块称量质量,封入塑料袋中,肉样不与袋壁接触,在 4 °C 冰箱中吊挂 24 h 后再次称量,计算滴水损失。

$$\text{滴水损失} = (\text{贮存前质量} - \text{贮存后质量}) / \text{贮存前质量} \times 100\%$$

1.2.6 常规营养成分和元素含量 羊肉中水分含量的测定参照 GB 5009.3-2016 食品中水分的测定;粗蛋白含量的测定参照 GB 5009.5-2016 食品中蛋白质的测定;粗脂肪含量的测定参照 GB 5009.6-2016 食品中脂肪的测定;粗灰分含量的测定参照 GB 5009.4-2016 食品中灰分的测定。

元素含量参照 GB 5009.268-2016 食品中多元素的测定,采用第二法电感耦合等离子体发射光谱法进行测定。

1.2.7 氨基酸和脂肪酸测定 氨基酸含量参照 GB 5009.124-2016 食品中氨基酸的测定方法,采用氨基酸自动分析仪(S-433D,德国 Sykam 公司)测定背最长肌中氨基酸的种类和含量。称取脱脂

肉样干粉,用盐酸高温水解 22~24 h,冷却后取 0.5 mL 于试管浓缩仪中蒸干除酸,加入样品稀释液后用涡旋混合器混匀,用一次性注射器吸取样品,用针头过滤器过滤至进样小瓶中,编辑进样序列,分析样品成分。

脂肪酸参照 Folch 等<sup>[7]</sup>的方法,采用气相色谱—质谱联用仪(Thermo1300/8000Evo,美国赛默飞世尔公司)测定。用组织研磨仪将解冻的肉样打成匀浆,称取 5 g 到平底烧瓶中进行试样前处理,得到脂肪提取物,加入 20 g/L 的氢氧化钠甲醇溶液 8 mL,连接回流冷凝器,进行脂肪的皂化和脂肪酸的甲酯化,随后加入正庚烷,振荡 2 min,再加入饱和氯化钠水溶液,静置分层。吸取上层液,加入适量无水硫酸钠,摇匀静置,再吸取上层溶液至进样瓶中,上机测定。上机条件:载气为高纯氦气,流速 1.1 mL/min,进样口和检测器温度分别为 250 °C 和 280 °C,电子轰击离子源(EI) 70 eV,全扫描,质量扫描范围为 30~600  $m/z$ 。

## 1.3 数据统计分析

试验数据用 Excel 2013 进行预处理,然后用 Graphpad Prism 8 软件进行单因素方差分析和 Tukey 多重比较,结果以“平均值±标准差”的形式表示, $P < 0.05$  表示差异显著, $P < 0.01$  表示差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同性别青海黑藏羊屠宰性能的比较

由表 1 可知,12 月龄放牧青海黑藏羊的屠宰率平均为(41.05±6.99)%,其中,公羊的宰前活质量、胴体质量和屠宰率均最高,母羊次之,羯羊最低,但性别之间差异不显著( $P > 0.05$ )。

### 2.2 不同性别青海黑藏羊肉品质的比较

由表 2 可知,12 月龄放牧青海黑藏羊宰后 24 h 的背最长肌 pH 为 5.66±0.14,肉色的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值分别为 32.33±2.55、23.4±1.40 和 13.73±1.39,剪切力为(26.40±4.67) N,熟肉率为(54.44±2.02)%,滴水损失为(2.53±1.94)%;其中,不同性别青海黑藏羊宰后 45 min 与 24 h 的肌肉 pH、剪切力、熟肉率和滴水损失差异不显著( $P > 0.05$ ),但剪切力均低于 30 N,熟肉率均高于 53 %;母羊肉色的  $L^*$  值极显著低于羯羊( $P < 0.01$ ),显著低于公羊( $P < 0.05$ ), $a^*$ 、 $b^*$  值均极显著低于羯羊( $P < 0.01$ ),与公羊差异不显著( $P > 0.05$ )。

表 1 不同性别青海黑藏羊的屠宰性能

Table 1 Carcass traits of black Tibetan sheep of different genders in Qinghai

项目 Item	青海黑藏羊 Qinghai black Tibetan sheep	组别 Group				P 值 P-value
		母羊 Ewe	公羊 Ram	羯羊 Wether		
宰前活质量/kg Body mass	28.13±4.03	29.25±1.69	29.84±2.20	25.31±0.80	0.156	
胴体质量/kg Carcass mass	11.51±2.22	12.30±0.92	12.51±0.49	9.71±1.08	0.075	
屠宰率/% Slaughter rate	41.05±6.99	41.93±1.01	42.91±3.93	38.31±3.85	0.583	

表 2 青海黑藏羊背最长肌的肉品质

Table 2 Meat quality of longissimus dorsi muscle of black Tibetan sheep in Qinghai

项目 Item	青海黑藏羊 Qinghai black Tibetan sheep	组别 Group				P 值 P-value
		母羊 Ewe	公羊 Ram	羯羊 Wether		
pH <sub>45min</sub>	6.49±0.17	6.54±0.08	6.40±0.06	6.54±0.08	0.999	
pH <sub>24h</sub>	5.66±0.14	5.76±0.09	5.57±0.01	5.64±0.03	0.100	
亮度(L*) Lightness	32.33±2.55	29.80±0.37 c	32.20±0.58 b	35.00±0.84 a	0.001	
红度(a*) Redness	23.4±1.40	22.40±0.24 b	23.00±0.45 b	24.80±0.58 a	0.007	
黄度(b*) Yellowness	13.73±1.39	12.80±0.20 b	13.00±0.45 b	15.40±0.25 a	0.001	
剪切力/N Shear force	26.40±4.67	27.03±1.72	28.12±3.16	24.06±0.36	0.391	
熟肉率/% Cooking rate	54.44±2.02	54.01±1.00	53.86±0.46	55.45±1.13	0.422	
滴水损失/% Drip loss	2.53±1.94	1.78±0.49	2.95±1.14	2.87±0.95	0.603	

注:同行不同字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: Values within same rows with different lowercase letters indicate significant difference( $P<0.05$ ), the same below.

### 2.3 不同性别青海黑藏羊肉常规营养成分的比较

由表 3 可知,12 月龄放牧青海黑藏羊背最长肌中水分、粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量分别为(78.19±1.00)%、(19.16±0.73)%、(4.41±

1.73)%和(3.69±0.21)%;其中,公羊背最长肌的粗灰分含量为 3.89%,显著高于羯羊( $P<0.05$ ),其他营养成分在不同性别之间差异均不显著( $P>0.05$ )。

表 3 青海黑藏羊背最长肌的常规营养成分

Table 3 Nutrient contents of longissimus dorsi muscle of black Tibetan sheep in Qinghai %

项目 Item	青海黑藏羊 Qinghai black Tibetan sheep	组别 Group				P 值 P-value
		母羊 Ewe	公羊 Ram	羯羊 Wether		
水分 Moisture	78.19±1.00	77.61±0.42	78.90±0.32	78.06±0.45	0.112	
粗蛋白 Crude protein	19.16±0.73	19.41±0.32	18.61±0.25	19.46±0.31	0.112	
粗脂肪 Ether extract	4.41±1.73	4.68±0.87	3.60±0.72	4.96±0.75	0.457	
粗灰分 Crude ash	3.69±0.21	3.63±0.06 ab	3.89±0.08 a	3.57±0.08 b	0.021	

### 2.4 不同性别青海黑藏羊肉矿物元素含量的比较

由表 4 可知,12 月龄放牧青海黑藏羊背最长肌中均含有铁、镁、锌、铜、钙和硒元素。其中,母羊背最长肌中铁元素和硒元素含量分别为(101.1±12.21)mg/kg 和(0.47±0.11)mg/kg,显著高于公羊和羯羊( $P<0.05$ ),锌、铜和钙元素含量略高于公羊和羯羊,但组间差异不显著( $P>0.05$ )。另外,公羊背最长肌中镁元素含量为(1.18±0.01)g/kg,显著高于羯羊( $P<0.05$ )。

### 2.5 不同性别青海黑藏羊肉氨基酸含量的比较

由表 5 可知,12 月龄放牧青海黑藏羊背最长

肌中必需氨基酸的含量为(41.29±1.87)%,鲜味氨基酸含量为(38.40±2.10)%,总氨基酸含量为(86.69±3.21)%。其中,羯羊背最长肌中苏氨酸含量最高,显著高于公羊( $P<0.05$ ),赖氨酸含量极显著高于母羊和公羊( $P<0.01$ ),总氨基酸(TAA)含量显著高于公羊和母羊( $P<0.05$ ),鲜味氨基酸含量显著高于母羊( $P<0.05$ );且母羊、公羊和羯羊背最长肌中天冬氨酸与谷氨酸含量之和均高于 20%;背最长肌中其他种类氨基酸以及必需氨基酸和非必需氨基酸含量性别间差异不显著( $P>0.05$ )。

表 4 青海黑藏羊背最长肌的矿物元素含量

Table 1 Mineral elements of longissimus dorsi muscle of black Tibetan sheep in Qinghai

项目 Item	青海黑藏羊 Qinghai black Tibetan sheep	组别 Group				P 值 P-value
		母羊 Ewe	公羊 Ram	羯羊 Wether		
Fe/(mg/kg)	79.10±22.35	101.1±12.21 a	69.08±3.61 b	67.08±2.19 b	0.012	
Mg/(g/kg)	1.15±0.04	1.15±0.01 ab	1.18±0.01 a	1.11±0.02 b	0.022	
Zn/(mg/kg)	86.79±13.48	98.18±7.32	80.36±3.14	81.82±3.86	0.054	
Cu/(mg/kg)	3.41±0.49	3.55±0.23	3.44±0.18	3.16±0.27	0.487	
Ca/(g/kg)	0.22±0.07	0.26±0.04	0.23±0.01	0.17±0.02	0.076	
Se/(mg/kg)	0.28±0.19	0.47±0.11 a	0.19±0.01 b	0.18±0.01 b	0.008	

表 5 青海黑藏羊背最长肌中氨基酸含量

Table 5 Amino acids content of longissimus dorsi muscle of black Tibetan sheep in Qinghai

项目 Item	青海黑藏羊 Qinghai black Tibetan sheep	组别 Group				P 值 P-value
		母羊 Ewe	公羊 Ram	羯羊 Wether		
必需氨基酸 EAA	41.29±1.87	40.49±1.01	40.33±0.31	42.85±0.49	0.051	
苏氨酸 Thr	4.14±0.19	4.13±0.06 ab	3.98±0.06 b	4.29±0.09 a	0.033	
缬氨酸 Val	4.69±0.23	4.60±0.08	4.78±0.18	4.71±0.07	0.552	
甲硫氨酸 Met	2.39±0.16	2.41±0.05	2.37±0.09	2.38±0.09	0.955	
异亮氨酸 Ile	4.12±1.12	4.34±0.10	4.24±0.22	4.59±0.11	0.251	
亮氨酸 Leu	7.32±1.88	7.28±0.20	7.04±0.18	7.58±0.12	0.133	
苯丙氨酸 Phe	3.82±0.16	3.86±0.09	3.83±0.09	3.78±0.05	0.734	
赖氨酸 Lys	7.48±0.56	7.28±0.17 b	6.99±0.03 b	8.07±0.17 a	0.001	
组氨酸 His #	3.72±0.20	3.73±0.09	3.58±0.06	3.83±0.10	0.196	
精氨酸 Arg* #	5.33±0.98	4.80±0.70	5.39±0.06	5.82±0.11	0.278	
非必须氨基酸 NEAA	43.08±0.54	42.10±0.70	42.55±0.32	44.61±0.79	0.048	
天冬氨酸 Asp*	8.28±0.33	8.15±0.18	8.22±0.06	8.46±0.16	0.210	
丝氨酸 Ser	3.38±0.16	3.32±0.05	3.29±0.04	3.52±0.07	0.045	
谷氨酸 Glu*	15.84±0.70	15.51±0.29	15.78±0.33	16.21±0.32	0.307	
脯氨酸 Pro	2.93±0.35	2.81±0.18	2.71±0.09	3.22±0.10	0.050	
甘氨酸 Gly*	3.62±0.97	3.74±0.12	3.75±0.10	4.09±0.09	0.050	
丙氨酸 Ala*	4.75±1.49	4.71±0.59	5.09±0.08	5.45±0.10	0.383	
胱氨酸 Cys	0.57±0.07	0.56±0.01	0.54±0.05	0.61±0.03	0.327	
酪氨酸 Tyr	3.18±0.21	3.30±0.12	3.18±0.04	3.06±0.09	0.228	
总氨酸 TAA	86.69±3.21	85.14±1.10 b	84.76±0.28 b	89.80±1.29 a	0.011	
鲜味氨基酸 FAA	38.40±2.10	36.91±1.01 b	38.22±0.34ab	40.02±0.75 a	0.048	
EAA/TAA	39.22±18.75	47.56±1.00	38.07±9.52	47.72±0.22	0.981	

注：\* 为鲜味氨基酸，# 为婴儿必需氨基酸。

Note: \* represents flavor amino acid, # represents baby essential amino acid.

### 2.6 不同性别青海黑藏羊肉脂肪酸组成的比较

如表 6 所示,12 月龄放牧青海黑藏羊背最长肌中共检测到 32 种脂肪酸,不饱和脂肪酸含量为(57.99±4.25)%,多不饱和脂肪酸含量为(14.07±4.12)%,其中,EPA 和 DHA 含量为(0.26±0.34)%和(0.42±0.26)%;不同性别的青海黑藏羊背最长肌中均含有 α-亚麻酸、EPA 以及 DHA 等 ω-3 系列脂肪酸,且这些脂肪酸在不同性

别间含量均无显著差异(P>0.05),但公羊背最长肌中不饱和脂肪酸含量为(61.13±1.04)%,显著高于母羊(P<0.05)。

## 3 讨论

### 3.1 性别对青海黑藏羊屠宰性能的影响

在畜牧业生产中,屠宰性能是评判羊产肉性能的重要指标。本研究中12月龄放牧青海黑藏

表 6 青海黑藏羊背最长肌中脂肪酸组成

Table 6 Fatty acids composition of longissimus dorsi muscle of black Tibetan sheep in Qinghai %

项目 Item	青海黑藏羊 Qinghai black Tibetan sheep	组别 Group				P 值 P-value
		母羊 Ewe	公羊 Ram	羯羊 Wether		
饱和脂肪酸 SFA	42.12±1.14	45.13±2.49	39.13±1.08	42.10±0.70	0.066	
辛酸 C8:0	0.03±0.02	0.01±0.01	0.02±0.01	0.04±0.01	0.366	
癸酸 C10:0	0.12±0.03	0.11±0.01	0.11±0.08	0.14±0.02	0.284	
月桂酸 C12:0	0.13±0.13	0.16±0.07	0.15±0.08	0.09±0.01	0.665	
十三酸 C13:0	0.03±0.01	0.03±0.01	0.02±0.01	0.03±0.01	0.601	
肉豆蔻酸 C14:0	2.11±0.91	2.39±0.58	2.08±0.46	1.87±0.07	0.688	
十五碳酸 C15:0	0.75±0.13	0.75±0.07	0.71±0.07	0.80±0.03	0.600	
棕榈酸 C16:0	13.36±1.31	13.88±0.29	12.70±0.82	13.50±0.52	0.376	
十七碳酸 C17:0	2.54±0.26	2.39±0.17	2.57±0.08	2.65±0.06	0.307	
硬脂酸 C18:0	21.69±4.23	24.34±2.88	19.60±0.98	21.14±0.59	0.202	
二十碳酸 C20:0	0.26±0.18	0.28±0.14	0.26±0.05	0.25±0.02	0.974	
二十一碳酸 C21:0	0.31±0.10	0.27±0.07	0.29±0.02	0.36±0.04	0.362	
二十二碳酸 C22:0	0.28±0.12	0.27±0.06	0.34±0.07	0.23±0.05	0.641	
二十三碳酸 C23:0	0.81±0.37	0.48±0.18	0.95±0.40	0.96±0.11	0.182	
二十四碳酸 C24:0	0.06±0.02	0.05±0.01	0.07±0.01	0.06±0.01	0.732	
单不饱和脂肪酸 MUFA	43.92±2.77	42.83±1.47	43.77±1.45	45.14±0.66	0.446	
十四碳一烯酸 C14:1	0.42±0.09	0.42±0.05	0.43±0.06	0.43±0.02	0.988	
十五碳一烯酸 C15:1	0.86±0.51	0.56±0.14	1.17±0.25	0.85±0.24	0.178	
棕榈油酸 C16:1,ω-7	1.80±0.40	1.87±0.16	1.68±0.22	1.87±0.17	0.721	
十七碳一烯酸 C17:1	1.42±0.62	1.01±0.09	1.62±0.33	1.64±0.23	0.196	
反式油酸 C18:1T	4.79±2.20	4.85±1.19	5.51±0.40	3.99±1.24	0.587	
油酸 C18:1,ω-9	30.07±3.26	30.38±0.79	28.68±2.01	31.16±1.41	0.504	
二十碳一烯酸 C20:1,ω-9	2.94±0.89	2.56±0.53	2.69±0.30	3.57±0.19	0.145	
二十二碳一烯酸 C22:1	1.60±1.02	1.18±0.43	2.00±0.62	1.62±0.27	0.477	
二十四碳一烯酸 C24:1	0.01±0.01	ND	ND	0.06±0.01	—	
多不饱和脂肪酸 PUFA	14.07±4.12	11.96±1.30	17.35±2.44	12.89±0.22	0.076	
反式亚油酸 C18:2T	1.32±0.22	1.40±0.12	1.35±0.10	1.20±0.07	0.347	
亚油酸 C18:2,ω-6	9.21±3.27	7.38±0.81	11.39±2.14	8.85±0.43	0.145	
γ-亚麻酸 C18:3,ω-6	0.40±0.12	0.39±0.01	0.45±0.03	0.44±0.01	0.053	
α-亚麻酸 C18:3,ω-6	1.11±0.46	1.07±0.28	1.27±0.23	0.99±0.10	0.643	
二十碳二烯酸 C20:2	0.43±0.19	0.38±0.10	0.50±0.10	0.41±0.05	0.607	
二十碳三烯酸 C20:3,ω-6	0.30±0.51	1.00±0.01	1.01±0.24	0.49±0.42	0.643	
二十碳四烯酸 C20:4,ω-6	0.63±0.75	0.50±0.21	1.10±0.51	0.28±0.06	0.216	
EPA C20:5,ω-3	0.26±0.34	0.57±0.06	0.63±0.17	0.18±0.01	0.473	
DHA C22:6,ω-3	0.42±0.26	0.51±0.13	0.59±0.14	0.38±0.02	0.368	
不饱和脂肪酸 UFA	57.99±4.25	54.79±2.48 b	61.13±1.04 a	58.04±0.65 ab	0.049	
SFA/UFA	0.74±0.15	0.84±0.09	0.64±0.03	0.73±0.02	0.086	
PUFA/SFA	0.34±0.13	0.27±0.04	0.45±0.08	0.31±0.01	0.065	
ω-3 PUFA	1.79±0.79	1.71±0.50	2.25±0.30	1.41±0.08	0.247	
ω-6 PUFA	10.54±3.77	8.47±0.79	13.26±2.50	9.87±0.23	0.113	
ω-6 PUFA/ω-3 PUFA	6.92±3.25	7.04±2.04	6.57±1.70	7.14±0.51	0.963	

注:SFA.饱和脂肪酸;UFA.不饱和脂肪酸;MUFA.单不饱和脂肪酸;PUFA.多不饱和脂肪酸;EPA.二十碳五烯酸;DHA.二十二碳六烯酸;“ND”表示未检出;表中各脂肪酸含量为肌肉中各脂肪酸占总脂肪酸的相对量。

Note:SFA=Saturated fatty acids;UFA=Unsaturated fatty acids;MUFA=Monounsaturated fatty acids;PUFA=Polyunsaturated fatty acids;EPA=Eicosapentaenoic acid;DHA=Docosahexaenoic acid;ND represents undetected;the content of fatty acid is the ratio of fatty acid to total fatty acid in muscle.

羊的屠宰率明显低于同龄高原型藏羊<sup>[8]</sup>,可能与舍饲使其日粮营养水平较高,从而获得最佳的产肉性能有关。性别对12月龄青海黑藏羊的屠宰性能无显著影响,其中宰前活质量和胴体质量与

郑中朝等<sup>[9]</sup>对育肥12月龄波杂肉羊的研究结果不同,可能与品种、饲养方式和环境因素不同有关。此外,本研究中青海黑藏羊的宰前活质量、胴体质量和屠宰率均呈现公羊>母羊>羯羊的趋

势,原因可能是羔羊去势后体内激素水平发生变化,降低了日增量和生长性能,进而导致屠宰性能降低<sup>[10]</sup>。

### 3.2 性别对青海黑藏羊肉品质的影响

pH、肉色和嫩度等都是评价羊肉食用品质的关键指标。正常羊肉 24 h 测定的 pH 为 5.46~5.76,若 PH<sub>24h</sub> 过高会使肉色发深,质地较硬,易产生 DFD 肉,屠宰后 pH 下降过快则会使肉色灰白,质地松软而容易形成 PSE 肉<sup>[11-12]</sup>,动物宰后随着时间和温度的变化,其肌肉 pH 也会变化,本研究中,放牧青海黑藏羊宰后 24 h 时测定的背最长肌 pH 为 5.66,处于新鲜肉正常范围<sup>[13]</sup>,说明青海黑藏羊的肉质新鲜。另外,研究发现宰后 45 min 和 24 h 的青海黑藏羊 pH 均不受性别影响,与王梦霖等<sup>[14]</sup>在陶赛特×小尾寒羊 F1 代羔羊和曾钰等<sup>[15]</sup>在牛上的研究结果相似,可能与同一片草场放牧饲养使其获得类似的能量和足够的糖原积累有关<sup>[16]</sup>。肉色也可以用来衡量肉的新鲜度,红度越高表示肉色越红,亮度越高则光泽感越好。本研究中,12 月龄放牧青海黑藏羊背最长肌的亮度与红度稍低于阿拉善绵羊<sup>[17]</sup>,可能与试验动物的饲料组成和生长阶段不同有关。本研究发现不同性别的青海黑藏羊在肉色方面具有明显差异,羯羊肉更有光泽,红度更好。另外,高爱琴等<sup>[18]</sup>对乌拉特羊肉的研究结果表明,不同性别羊肉的红度值差异不显著,与本研究结果相同,成年母羊肉的亮度值显著高于公羊肉却与本研究结果相反,说明 12 月龄放牧青海黑藏羊公羊背最长肌色泽更好。此外,剪切力可反映肉的嫩度,熟肉率和滴水损失等指标主要反映羊肉的保水性能和可储存性,剪切力越小,熟肉率越大,滴水损失越小,保水性能越好,肉质越细嫩多汁。曹忻等<sup>[19]</sup>在不同尾型绵羊肉品质比较中发现,藏羊肉质表现出失水率低,熟肉率高的特点,这在本研究也有发现。本研究还发现性别对青海黑藏羊肉的嫩度、熟肉率和滴水损失率均无显著影响,但羯羊具有肉质更好的趋势,这与俄木曲者等<sup>[20]</sup>对肥羔型黑山羊羔羊肉品质的研究结果相似,说明性别对羊肉肌肉品质的影响较小。

### 3.3 性别对青海黑藏羊背最长肌中常规营养成分和矿物元素含量的影响

肉产品营养成分对肉的口感、嫩度和风味具有重要意义,本试验测得放牧青海黑藏羊背最长肌中水分、粗蛋白含量高于同龄自然放牧条件下

乌珠穆沁羊肉,而粗脂肪的含量低于乌珠穆沁羊肉<sup>[21]</sup>,遗传因素除外,这可能与暖季青海贵南草场牧草产量充足且营养品质高,加之试验动物膘情良好有重要关系。本研究发现除粗灰分外,性别对 12 月龄放牧青海黑藏羊背最长肌常规营养成分无显著影响,但师帅<sup>[22]</sup>对 7 月龄新疆柯尔克孜羊的研究中发现,性别对试验羊肉的水分和粗脂肪含量影响显著,对粗灰分含量无明显影响,产生差异的原因可能与试验对象即羊品种或所处生长阶段不同有关,从而表现出不同的肌肉营养品质特征。矿物元素是畜禽必需的营养元素,对肉质具有重要影响,对人体也有诸多益处,如锌、硒等元素在提高免疫力,预防多种疾病方面具有重要意义。有研究表明,矿物质浓度在个体间的差异主要与品种、环境和生理等因素有关<sup>[23]</sup>。本研究中,黑藏羊背最长肌中仅铁、镁和硒 3 种矿物元素在不同性别间具有显著差异,且母羊背最长肌中元素含量最高,羯羊最低,均远高于欧拉羊<sup>[24]</sup>、茶卡羊<sup>[25]</sup>、滩羊和小尾寒羊等品种<sup>[26]</sup>,说明青海黑藏羊肉含有丰富的矿物元素,且性别对其背最长肌中矿物元素含量的影响较大,特别是母羊肉优势更明显。

### 3.4 性别对青海黑藏羊背最长肌中氨基酸含量和脂肪酸组成的影响

氨基酸是人体必需的营养成分,与肉制品鲜味的形成也有直接关系<sup>[27]</sup>,比如精氨酸是维持婴幼儿生长发育的必需氨基酸<sup>[28]</sup>,谷氨酸是最主要的鲜味氨基酸之一,能够调节神经衰弱和保护肝功能<sup>[29]</sup>。本研究中,12 月龄放牧青海黑藏羊背最长肌中必需氨基酸、谷氨酸和天冬氨酸等鲜味氨基酸以及总氨基酸含量明显高于同龄放牧乌珠穆沁羊<sup>[30]</sup>,可能受品种和放牧草场草地类型影响,说明青海黑藏羊肉氨基酸含量丰富且味道鲜美。另外,本研究结果表明,青海黑藏羊羯羊背最长肌中氨基酸含量更高,也有研究表明 7 月龄公羊肌肉中氨基酸组成和数量多于母羊,而在成年后则少于母羊<sup>[22]</sup>,说明性别对羊肉氨基酸组成和含量有一定影响。羊肉中脂肪酸的含量关系到脂肪组织的硬度,影响肉的嫩度和适口性<sup>[31]</sup>,特别是 PUFA<sup>[32]</sup>。PUFA 中的 EPA 能降低心血管疾病的发病率,DHA 能够促进大脑和视觉神经发育<sup>[33]</sup>,且一些支链脂肪酸,如 4-甲基辛酸和 4-甲基壬酸等的含量差异造成不同品种羊肉膻味存在差异<sup>[34]</sup>。有研究表明,饲料中  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 PUFA 比

例降低,畜离肌肉中  $\alpha$ -亚麻酸、EPA 以及 DHA 含量会显著升高<sup>[35]</sup>,本研究也验证了该结果。本研究中,青海黑藏羊背最长肌中共检测到 32 种脂肪酸,包括  $\alpha$ -亚麻酸、EPA 以及 DHA 等  $\omega$ -3 系列脂肪酸,主要成分是棕榈酸(13.36%)、硬脂酸(21.69%)、油酸(30.07%)、亚油酸(9.21%),且 PUFA 含量高于乌拉特山羊<sup>[36]</sup>,可能与品种和环境因素不同有关。另外,本研究结果表明公羊背最长肌中 UFA 含量高于母羊,其他脂肪酸组成性别间的差异均不显著,说明相同月龄、不同性别的放牧青海黑藏羊背最长肌中的主要脂肪酸组成相近,但整体来看,公羊和羯羊所含脂肪酸含量有高于母羊的趋势。

#### 4 结论

本研究结果表明:12 月龄放牧青海黑藏羊的肉品质具有剪切力低、熟肉率高、富含氨基酸、矿物元素以及多不饱和脂肪酸的特点。母羊、公羊和羯羊的屠宰性能及背最长肌中常规营养成分含量无显著差异,而肉品质及矿物元素、氨基酸含量以及脂肪酸组成各有优势,其中,母羊肉的矿物元素含量较高,特别是铁和硒元素,公羊肉中多不饱和脂肪酸含量更高,而羯羊屠宰后肉的色泽更加鲜亮且含有更多的氨基酸。

#### 参考文献 Reference:

- [1] 赵有璋.羊生产学[M].北京:中国农业出版社,2011:131.  
ZHAO Y ZH.Sheep Production[M].Beijing:China Agriculture Press,2011:131.
- [2] 周玉青,李娜,谢鹏,等.不同饲养模式对青海藏羊肉食用品质和营养成分的影响[J].食品科学,2016,37(19):249-253.  
ZHOU Y Q,LI N,XIE P,*et al.*Effects of different feeding patterns on meat quality and nutrition of Tibetan sheep[J].*Food Science*,2016,37(19):249-253.
- [3] 薛世建.冷季饲养模式和藏羊经济效益的关联性[J].中国饲料,2018,8(18):91-93.  
XUE SH J.Cold season feeding mode and economic benefit correlation of Tibetan sheep[J].*China Feed*,2018,8(18):91-93.
- [4] 康婧鹏,王文基,郭亚敏,等.不同能量水平低氮饲料对藏羊表观消化率、氮代谢和生长性能的影响[J].草业学报,2018,27(9):166-174.  
KANG J P,WANG W J,GUO Y M,*et al.*Effects of different dietary energy levels on apparent digestibility, nitrogen metabolism and growth performance of Tibetan sheep under low nitrogen conditions [J].*Acta Prataculturae Sinica*,2018,27(9):166-174.
- [5] 周文静,袁泽湖,李熙成,等.3 种不同类型藏羊的屠宰性能和肉品质的比较分析[J].草业科学,2019,36(7):1869-1878.  
ZHOU W J,YUAN Z H,LI X CH,*et al.*Comparison of carcass and meat quality among three different types of Tibetan sheep[J].*Pratacultural Science*,2019,36(7):1869-1878.
- [6] 尚永成,肖锋,李泉林,等.青海天然草地特点分述[J].青海草业,2011,20(4):31-33.  
SHANG Y CH,XIAO F,LI Q L,*et al.*The key characteristics of natural grassland in Qinghai[J].*Qinghai Prataculture*,2011,20(4):31-33.
- [7] FOLCH J,LEES M,SLOANE STANLEY G H.A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J].*The Journal of Biological Chemistry*,1957,226(1):497-509.
- [8] WANG X G,XU T W,ZHANG X L,*et al.*Effect of dietary protein levels on growth performance,carcass traits,serum metabolites,and meat composition of Tibetan sheep during the cold season on the Qinghai-Tibetan plateau[J].*Animals*,2020,10:801.
- [9] 郑中朝,张耀强,张力,等.波杂肉羊屠宰性能及肉品质研究[J].中国草食动物,2007,27(5):21-24.  
ZHENG ZH CH,ZHANG Y Q,ZHANG L,*et al.*Studies on the slaughter performance and meat quality of Boer crossbred goats[J].*China Herbivore Science*,2007,27(5):21-24.
- [10] 李宇,赵张晗,段春辉,等.去势对小尾寒羊公羔育肥及肉品质的影响[J].中国畜牧杂志,2018,54(12):103-108.  
LI Y,ZHAO ZH H,DUAN CH H,*et al.*Effect of castration on fattening and meat quality of male Small-tail Han lambs [J].*Chinese Journal of Animal Science*,2018,54(12):103-108.
- [11] SOJI Z,MUCHENJE V.Effect of genotype and age on some carcass and meat quality traits of beef carcasses subjected to the South African classification system[J].*Meat Science*,2016,117(3):205-211.
- [12] SMITH G C,TATUM J D,BELK K E.International perspective: characterisation of united states department of agriculture and meat standards australia systems for assessing beef quality[J].*Australian Journal of Experimental Agriculture*,2008,48(11):1465-1480.
- [13] 王明昱,梅晓彦,张建新,等.以肉的感官特征和 pH 值鉴别肉的品质[J].河南畜牧兽医,2001,22(4):31-32.  
WANG M M,MEI X Y,ZHANG J X,*et al.*The sensory characteristics and pH value of meat wew used to identify the quality of meat [J].*Henan Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*,2001,22(4):31-32.
- [14] 王梦霖,雒秋江,杨开伦,等.年龄和性别对陶赛特×小尾寒羊 F1 代羔羊屠宰性能与肉品质的影响[J].中国畜牧兽医,2009,36(2):152-155.  
WANG M L,LUO Q J,YANG K L,*et al.*Effects of age and sex on slaughter characteristics and meat quality of poll Dorset×Small Tail Han sheep F1 lamb[J].*China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*,2009,36(2):152-155.
- [15] 曾钰,彭忠利,高彦华,等.性别对舍饲育肥牦牛肉品质

- 的影响[J].食品工业科技,2019,40(18):293-299,318.  
ZENG Y,PENG ZH L,GAO Y H,*et al*.Effect of gender on meat quality of house-fed fattening yak[J].*Science and Technology of Food Industry*,2019,40(18):293-299,318.
- [16] JACQUES J,CHOUINARD Y,GARIEPY C,*et al*.Meat quality,organoleptic characteristics and fatty acid composition of dorset lambs fed different forage to concentrate ratio or fresh grass[J].*Canadian Journal of Animal Science*,2017,97(2):290-301.
- [17] 奈如嘎.添加锁阳对阿拉善绵羊肉品质特性的影响[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2016:15.  
NAI R G.Effect of cynomorium supplemented diet on characteristics of Alxa sheep meat [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University,2016:15.
- [18] 高爱琴,陶晓臣,王贵应,等.乌拉特羊肉品质特性研究[J].黑龙江畜牧兽医,2011(4):31-33.  
GAO A Q,TAO X CH,WANG G Y,*et al*.Studies on quality characteristics of Urat mutton [J].*Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*,2011(4):31-33.
- [19] 曹忻,张丽,张文涛,等.不同尾型绵羊生产性能、屠宰性能、肉品质和脂肪酸组成的比较[J].西北农业学报,2020,29(1):1-10.  
CAO X,ZHANG L,ZHANG W T,*et al*.Growth and slaughter performance, meat quality, and fatty acid of sheep with distant tail types[J].*Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*,2020,29(1):1-10.
- [20] 俄木曲者,熊朝瑞,范景胜,等.肥羔型黑山羊新品种羔羊肉品质研究[J].黑龙江畜牧兽医,2016(1):108-111.  
EMUQUZHE,XIONG CH R,FAN J SH,*et al*.Studies on the quality of lamb of a new breed of black sheep of fat lamb type [J].*Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*,2016(1):108-111.
- [21] 王莉梅,梁俊芳,王德宝,等.胸椎数对自然放牧条件下乌珠穆沁羊肉品质的影响[J].中国畜牧杂志,2018,54(10):52-57.  
WANG L M,LIANG J F,WANG D B,*et al*.Effect of different thoracic vertebrae on meat quality of Ujumqin sheep in the same months age under natural grazing conditions [J].*Chinese Journal of Animal Science*,2018,54(10):52-57.
- [22] 师帅.年龄和性别对新疆柯尔克孜羊肉品质特性的影响研究[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2016:14-16.  
SHI SH.Study on the effect of age and sex on characteristics of Kirgiz mutton quality[D].Urumqi: Xinjiang Agricultural University,2016:14-16.
- [23] DUAN Q,TAIT JR R G,SCHNEIDER M J,*et al*.Sire breed effect on beef longissimus mineral concentrations and their relationships with carcass and palatability traits [J].*Meat Science*,2015,106(3):25-30.
- [24] 张灿,李鹤琼,余忠祥,等.自然放牧方式下欧拉羊羊肉中矿物元素、脂肪酸及氨基酸含量分析[J].中国畜牧杂志,2020,56(1):159-163,167.  
ZHANG C,LI H Q,YU ZH X,*et al*.Meat mineral, fatty acid and amino acid profile of Oulalams at pasture [J].*Chinese Journal of Animal Science*,2020,56(1):159-163,167.
- [25] 马雪清,闫忠心,胡蓉,等.茶卡羊肉营养成分及微量元素分析[J].青海畜牧兽医杂志,2018,48(5):16-19.  
MA X Q,YAN ZH X,HU R,*et al*.Preliminary study on the quality of nutrition and minerals from Chaka Tibetan mutton[J].*Chinese Qinghai Journal of Animal and Veterinary Sciences*,2018,48(5):16-19.
- [26] 钱文熙.滩羊肉品质研究[D].银川:宁夏大学,2005:51-52.  
QIAN W X.Meat quality studies with tan-sheep[D].Yinchuan:Ningxia University,2005:51-52.
- [27] 耿瑞蝶,王金水.呈味氨基酸和肽对发酵食品中风味的作用[J].中国调味品,2019,44(7):176-178,183.  
GENG R D,WANG J SH.Effect of flavored amino acids and peptides on the flavor of fermented foods [J].*China Condiment*,2019,44(7):176-178,183.
- [28] ALEXANDER J W,SUPP D M.Role of arginine and omega-3 fatty acids in wound healing and infection[J].*Adv Wound Care (New Rochelle)*,2014,3(11):682-690.
- [29] WONG A W,MAGNUSON B A,NAKAGAWA K,*et al*.Oral subchronic and genotoxicity studies conducted with the amino acid,L-glutamine[J].*Food and Chemical Toxicology*,2011,49(9):2096-2102.
- [30] 王莉梅,梁俊芳,王德宝,等.自然放牧条件下不同月龄乌珠穆沁羊的肉品质分析[J].食品科技,2018,43(12):118-124,130.  
WANG L M,LIANG J F,WANG D B,*et al*.Effect of different age on meat quality in Ujumqin sheep under natural grazing condition[J].*Food Science and Technology*,2018,43(12):118-124,130.
- [31] WOOD J D,ENSER M,FISHER A V,*et al*.Fat deposition, fatty acid composition and meat quality: a review[J].*Meat Science*,2008,78(4):343-358.
- [32] RADMZ A E,WICKERSHAM L A,LOERCH S C.Effects of dietary polyunsaturated fatty acid supplementation on fatty acid composition in muscle and subcutaneous adipose tissue of lambs[J].*Journal of Animal Science*,2009,87(12):4082-4090.
- [33] 闫忠心,靳义超.基于氨基酸和脂肪酸的藏羊肉质量评价[J].食品工业科技,2016,37(3):351-354,363.  
YAN ZH X,JIN Y CH.Quality evaluation of tibetan mutton based on amino acid and fatty acid [J].*Science and Technology of Food Industry*,2016,37(3):351-354,363.
- [34] 丁艳艳,王亮亮,韩卫杰,等.不同绵羊品种膻味物质分离、鉴定和比较分析[J].西北农业学报,2011,20(11):17-21.  
DING Y Y,WANG L L,HAN W J,*et al*.Extraction,identification and comparison of mutton flavor materials from different sheep breeds[J].*Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*,2011,20(11):17-21.
- [35] 齐珂珂.日粮 $\omega$ -6/ $\omega$ -3比例对肉鸡脂肪酸组成及肉品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2009:31-32.  
QI K K.Effect of dietary  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 on fatty acid composition and meat quality in chicken[D].Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences,2009:31-32.
- [36] 韩利伟.放牧与舍饲对乌拉特山羊肉品质影响的研究[D].

呼和浩特:内蒙古农业大学,2019:18-19.

HAN L W.Effect on meat quality of grazing and confined-

ness of Wulategoat[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University,2019:18-19.

## Analysis of Meat Quality of Black Tibetan Sheep of Different Genders in Qinghai under Natural Grazing Condition

KANG Shengping<sup>1,2</sup>, HU Linyong<sup>1</sup>, WANG Xungang<sup>1,2</sup>, ZHANG Xiaoling<sup>1,2</sup>,  
ZHAO Na<sup>1</sup>, XU Tianwei<sup>1</sup>, LIU Hongjin<sup>1,2</sup> and XU Shixiao<sup>1</sup>

(1.Key Laboratory of Adaption and Evolution of Plateau Biota, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract** To understand the meat quality characteristics and the difference of black Tibetan sheep of different genders in Qinghai under natural grazing condition, we took the ewe, ram and wether of 12-month-old natural grazing black Tibetan sheep in Qinghai as the research object, the carcass traits, meat quality, and the contents of amino acids, mineral elements and fatty acids were determined. The results showed that in black Tibetan sheep of 12 months age in Qinghai, the slaughter rate was 41.05%, the pH value of the longissimus dorsi muscle was within the range of fresh meat, and the cooking rate was 54.44%, the zinc, selenium and other elements were also contained, and the content of flavor amino acid was 38.40%, a total of 32 fatty acids were detected, and all of which contained omega-3 fatty acids such as alpha-linolenic acid (C18 : 3), eicosapentaenoic acid (C20 : 5, EPA) and docosahexaenoic acid (C22 : 6, DHA). There was no significant difference in the carcass traits of black Tibetan sheep of different genders in Qinghai. Furthermore, the lightness, redness and yellowness of the wether longissimus dorsi muscle were significantly higher than those of the ewes, and the total amino acid and lysine content of the wethers were significantly higher than that in the ewes and rams, the content of the flavor amino acid was significantly higher than that in the ewes, the threonine content was significantly higher than that in the rams. The content of iron and selenium in ewes was significantly higher than that in the rams and wethers. The content of crude ash and magnesium in rams was significantly higher than that in wethers, and the polyunsaturated fatty acids was significantly higher than those in the ewes. These results indicated that the meat of ewes in grazing black Tibetan sheep of Qinghai had higher mineral element content, the meat of rams had higher polyunsaturated fatty acid content, and the meat of wethers had more advantages in meat color and amino acid content.

**Key words** Black Tibetan sheep in Qinghai ; Sex; Slaughter performance; Meat quality; Nutrient contents

**Received** 2020-03-20

**Returned** 2020-06-14

**Foundation item** The National Key R&D Project(No.2016YFC0501905); Qinghai Science and Technology Support Project(No.2019-SF-149, No.2019-NK-173).

**First author** KANG Shengping, female, master student. Research area: grazing and livestock ecology. E-mail: kangsp@nwipb.cas.cn

**Corresponding author** XU Shixiao, male, research fellow. Research area: grazing and livestock ecology. E-mail: sxxu@nwipb.cas.cn

(责任编辑:顾玉兰 Responsible editor: GU Yulan)