

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0376

邵晨阳, 王思琪, 胡延春, 高佩, 崔玉晶, 谢雷, 舒刚, 任志华, 邓俊良. 紫茎泽兰对建昌黑山羊肌肉中氨基酸和脂肪酸含量的影响. 草业科学, 2021, 38(2): 364-370.

SHAO C Y, WANG S Q, HU Y C, GAO P, CUI Y J, XIE L, SHU G, REN Z H, DENG J L. Effects of *Ageratina adenophora* on amino acid and fatty acid contents in the muscles of Jianchang black goats. Pratacultural Science, 2021, 38(2): 364-370.

紫茎泽兰对建昌黑山羊肌肉中氨基酸 和脂肪酸含量的影响

邵晨阳, 王思琪, 胡延春, 高佩, 崔玉晶,
谢雷, 舒刚, 任志华, 邓俊良

(环境公害与动物疾病四川省高校重点实验室 / 四川农业大学动物医学院, 四川 成都 611130)

摘要: 为研究紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 对建昌黑山羊肌肉中氨基酸和脂肪酸含量的影响, 本研究采用氨基酸自动分析仪和氯仿-甲醇抽提法, 对自然放牧采食紫茎泽兰的建昌黑山羊背最长肌中氨基酸、脂肪酸含量进行测定分析。结果显示, 与对照组比较, 建昌黑山羊肌肉必需氨基酸 (essential amino-acid, EAA)、非必需氨基酸 (non-essential amino acid, NEAA) 和总氨基酸 (total amino acid, TAA) 含量减少, 风味氨基酸含量减少; 饱和脂肪酸 (saturated fatty acid, SFA) 含量减少, 单不饱和脂肪酸 (monounsaturated fatty acid, MUFA)、多不饱和脂肪酸 (polyunsaturated fatty acids, PUFA) 和不饱和脂肪酸 (unsaturated fatty acid, UFA) 含量增加, UFA/SFA (U/S) 值升高, 与膻味呈正比的脂肪酸含量升高, 与膻味呈反比的脂肪酸含量减少, 说明紫茎泽兰降低了肉品的氨基酸营养价值, 增加了肉品的脂肪酸营养价值, 对肉品风味有一定影响。研究表明, 紫茎泽兰饲喂反刍动物, 具有一定的营养价值, 但紫茎泽兰的毒性使动物肌肉脂肪酸和氨基酸含量发生变化, 降低了肉品品质。

关键词: 建昌黑山羊; 氨基酸; 脂肪酸; 紫茎泽兰

文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2021)02-0364-07

Effects of *Ageratina adenophora* on amino acid and fatty acid contents in the muscles of Jianchang black goats

SHAO Chenyang, WANG Siqu, HU Yanchun, GAO Pei, CUI Yujing,
XIE Lei, SHU Gang, REN Zihua, DENG Junliang

(Key Laboratory of Environmental Hazard and Animal Disease of Sichuan Province / College of Veterinary Medicine,
Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, Sichuan, China)

Abstract: This study aimed to examine the effects of *Ageratina adenophora* on amino acid and fatty acid contents in the muscles of Jianchang black goats. Jianchang black goats were fed with *A. adenophora* freely, and the contents of amino and fatty acids in their muscles were analyzed using an automatic amino acid analyzer and the chloroform-methanol extraction method, respectively. The contents of essential amino acids, non-essential amino acids, total essential amino acids, and flavor-related amino acids in the muscles of Jianchang black goats fed with *A. adenophora* decreased compared with the control group. At the same time the content of saturated fatty acid (SFA) decreased, while the content of monounsaturated

收稿日期: 2020-07-11 接受日期: 2020-11-23

基金项目: 四川省科技厅重点研发计划 (重大科技专项: 2020YFS0337)

第一作者: 邵晨阳 (1998-), 女, 四川双流人, 在读本科生. E-mail: shaocy98@163.com

通信作者: 胡延春 (1975-), 男, 四川蓬溪人, 教授, 博导, 博士, 主要从事动物中毒机理及防控技术研究. E-mail: hychun114@163.com

fatty acid, polyunsaturated fatty acid, and unsaturated fatty acid (UFA) increased, and the UFA/SFA (U/S) ratio increased. The fatty acids that are proportional to the smell of mutton increased, and those that were inversely proportional to the smell of mutton decreased, indicating that *A. adenophora* reduced the nutritional value of amino acids and improved the nutritional value of fatty acids in meat, which had a certain effect on the flavor of meat. The results showed that *A. adenophora* fed ruminants had certain nutritional value, but the toxicity of *A. adenophora* changed muscle fatty acid and amino acid contents, which decreased the meat quality.

Keywords: Jianchang black goats; amino acid; fatty acid; *Ageratina adenophora*

Corresponding author: HU Yanchun E-mail: hychun114@163.com

紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora*) 是一种多年生半灌木有毒植物, 原产于美洲, 20 世纪 40 年代由中缅边境侵入我国云南南部^[1], 在我国西南地区广泛分布, 其中四川凉山州和攀枝花市为入侵重灾区^[2], 严重影响了当地畜牧业发展。牧草严重减产和紫茎泽兰大面积入侵导致当地放养山羊大量采食紫茎泽兰。由于未经脱毒的紫茎泽兰不适宜作为食草动物的饲料^[3], 采食紫茎泽兰可造成山羊肝肾脾等实质性器官损伤、功能性细胞变性坏死, 血清脂质过氧化物增加, 抑制生长和持续炎症等症状^[4-5]。根据走访调研结果, 长期采食紫茎泽兰的建昌黑山羊肉质风味奇特, 明显区别于未采食紫茎泽兰的山羊, 而建昌黑山羊养殖作为当地畜牧业支柱性产业, 羊肉肉质风味改变在一定程度上影响消费者的接受度, 进而影响当地畜牧业的发展。

羊肉的风味是由肉品中蛋白质、脂肪以及碳水化合物等形成的风味前体物在加热过程中发生一系列的变化而组成的^[6], 饲料的组成将影响动物肌肉中氨基酸与脂肪酸的含量^[7], 氨基酸和脂肪酸都是重要的风味前体物质之一^[8], 也是直接的滋味贡献者^[9]和气味贡献者^[10]。肉品风味的改变, 与氨基酸和脂肪酸含量的改变有很大关系。

本研究以凉山州地区自然放牧黑山羊、圈养黑山羊为研究对象, 判断紫茎泽兰是否会影响建昌黑山羊肌肉中氨基酸与脂肪酸含量, 以及影响程度, 为紫茎泽兰对反刍动物肉品质影响和对畜牧业的危害提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验羊来源及样品采集

试验羊分为两组, 其中建昌黑山羊 (A 组) 来源于安宁河流域中部的德昌县, 德昌县是紫茎泽兰入

侵重灾区, 入侵面积约 6.33 万 hm^2 , 放牧建昌黑山羊毛约 15 万只。A 组黑山羊年龄为 2~4 岁, 体重为 40.0~50.0 kg。对照组黑山羊 (B 组) 来源于会理县人工饲养的、未采食紫茎泽兰的健康黑山羊, 年龄为 2~4 岁, 体重为 40.0~55.0 kg, 与试验组差异不显著 ($P > 0.05$)。所有试验羊屠宰前禁食 12 h, 禁水 2 h, 屠宰后采集背最长肌置于样品袋中密封, 于 $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中保存。

1.2 紫茎泽兰的营养成分

紫茎泽兰的营养成分丰富, 其粗蛋白含量为 19.74%, 略高于非蛋白饲料和一般牧草; 粗纤维含量为 17.25%, 粗脂肪含量为 13.47%, 粗灰分含量为 4.3%, 无氮浸出物为 45.24%^[11]。紫茎泽兰含有 16 种氨基酸, 其中 8 种必需氨基酸含量都比较高 (表 1)。

表 1 紫茎泽兰饲料的氨基酸组成
Table 1 Amino acid composition of *Ageratina adenophora*

		%	
名称 Name	含量 Content	名称 Name	含量 Content
赖氨酸 Lys*	0.56	蛋氨酸 Met*	0.15
缬氨酸 Val*	0.86	谷氨酸 Glu	1.80
丝氨酸 Ser	0.56	精氨酸 Arg	0.68
甘氨酸 Gly	0.82	丙氨酸 Ala	0.95
酪氨酸 Tyr	0.40	苯丙氨酸 Phe*	0.77
亮氨酸 Leu*	1.23	异亮氨酸 Ile*	0.70
脯氨酸 Pro	0.80	天冬氨酸 Asp	1.35
苏氨酸 Thr*	0.67	组氨酸 His*	0.25

*为必需氨基酸。

* indicates essential amino acids.

1.3 试验方法

参照 GB 5009.124-2016, 采用全自动氨基酸自动分析仪测定肌肉中各氨基酸含量。

根据 FAO/WAO 修订的人体必需氨基酸的均衡模式, 可按下式进行氨基酸评分^[12](amino acid score, AAS), AAS 越接近 100, 说明与人体氨基酸组成越相近, 蛋白质越有营养价值。

$$AAS = \frac{\text{试验蛋白质氨基酸含量}}{\text{FAO/WAO评分模式中同种氨基酸含量}} \times 100。$$

脂肪酸参照 GB 5009.168-2016, 采用氯仿-甲醇抽提法进行含量测定。

1.4 统计分析

试验数据采用 Excel 2016 统计分析, SPSS 21.0 分别对各组黑山羊背最长肌氨基酸、黑山羊背最长肌脂肪酸含量进行非参数 wilcoxon 检验。

2 结果与分析

2.1 紫茎泽兰对黑山羊背最长肌氨基酸的影响

如表 2、表 3 所列, 两组黑山羊背最长肌氨基酸种类丰富, 试验 A、B 组的必需氨基酸/总氨基酸 (essential amino-acid/total amino acid, EAA/TAA) 分别为 40.6% 和 40.0%, EAA/非必需氨基酸 (EAA/non-essential amino acid, EAA/NEAA) 分别为 68.4% 和 66.7%。B 组中 EAA 含量略高于 A 组; EAA 中 A 组苏氨酸 (Thr)、缬氨酸 (Val)、异亮氨酸 (Ile)、亮氨酸 (Leu)、苯丙氨酸 (Phe)、赖氨酸 (Lys)、精氨酸 (Arg) 低于 B 组。总体来看, 两组黑山羊背最长肌中氨基酸含量差异均不明显。

表 2 紫茎泽兰对建昌黑山羊背最长肌非氨基酸含量的影响
Table 2 Effects of *Ageratina adenophora* on the content of non-essential amino acids in longissimus dorsi muscle of Jianchang black goats

氨基酸 Amino acid	A组 (试验组) Group A (Test group)	B组 (对照组) Group B (Control group)	%
天冬氨酸 Asp	6.64	6.92	
丝氨酸 Ser	2.80	2.94	
谷氨酸 Glu	10.97	11.42	
甘氨酸 Gly	3.92	5.38	
丙氨酸 Ala	4.65	4.93	
组氨酸 His	2.40	2.38	
精氨酸 Arg	4.81	5.11	
脯氨酸 Pro	3.37	3.89	
合计 Total	39.56	42.97	

2.2 紫茎泽兰对黑山羊必需氨基酸评分影响

两组黑山羊肉的氨基酸评分均表现为 A 组小于 B 组 (表 3), 两组氨基酸含量均低于 FAO/WAO 评分模式中的含量, 分别低 18.83%、14.17%, 属于蛋白质品质中等的羊肉, A、B 组的第一限制氨基酸赖氨酸含量分别比 FAO/WAO 评分模式中的含量高 12.55%、16.73%。

2.3 紫茎泽兰对黑山羊背最长肌脂肪酸的影响

两组黑山羊背最长肌中饱和脂肪酸 (SFA) 含量

表 3 紫茎泽兰影响下的建昌黑山羊必需氨基酸评分

Table 3 Essential amino-acid score of Jianchang black goats under the influence of *Ageratina adenophora*

氨基酸 Amino acid	FAO/WAO模式 FAO/WAO model/(mg·g ⁻¹)	A组 (试验组) Group A (Test group)		B组 (对照组) Group B (Control group)	
		含量 Content/(mg·g ⁻¹)	评分 Score	含量 Content/(mg·g ⁻¹)	评分 Score
苏氨酸 Thr	4.00	3.29	82.25	3.38	84.50
缬氨酸 Val	5.00	3.38	67.60	3.63	72.60
蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	3.50	2.23	63.71	2.24	64.00
异亮氨酸 Ile	4.00	3.01	75.25	3.10	77.50
亮氨酸 Leu	7.00	5.47	78.14	5.90	84.29
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	6.00	4.84	80.67	5.37	89.50
赖氨酸 Lys	5.50	6.19	112.55	6.42	116.73
合计 Total	35.00	28.41	81.17	30.04	85.83

对照 B 组大于试验 A 组 (表 4), 不饱和脂肪酸 (UFA) 含量 A 组大于 B 组。其中, 单不饱和脂肪酸 (MUFA) 含量 A 组大于 B 组, 多不饱和脂肪酸 (PUFA) 含量 B 组大于 A 组。A 组 UFA 与 SFA 比值 (U/S) 为 1.11, B 组 U/S 为 1.02。SFA 中含量最高的是棕榈酸 (C16:0)、硬脂酸 (C18:0), UFA 含量最高的是油酸 (C18:1n9c), 其余脂肪酸含量均不超过 5%。棕榈酸含量 B 组比 A 组多占 1.79% 硬脂酸含量 A 组比 B 组多占 0.40%。油酸含量 A 组比 B 组多占 2.96%。总体来说, 两组黑山羊背最长肌脂肪酸含量差异均不明显。

3 讨论

3.1 紫荃泽兰对建昌黑山羊背最长肌中氨基酸含量的影响

有研究表明, 紫荃泽兰的适口性并不如其他牧草, 山羊一般在极为饥饿时才选择紫荃泽兰^[13], 采食量不多, 这可能是黑山羊背最长肌氨基酸检测结果均无明显差异的原因。因此仅从含量分析: 采食紫荃泽兰的黑山羊与未食用紫荃泽兰的黑山羊相比, 其 EAA、NEAA 和总氨基酸含量更低。反刍动物对日粮中蛋白质的消化主要依靠瘤胃内微生物, 其产生的微生物蛋白是反刍动物主要的氨基酸来源。微生物蛋白质含有高浓度高质量的 EAA, 微生物蛋白质的氨基酸组成也与动物肌肉质量相关, 并受多种因素影响^[14]。反刍动物在胃内吸收肽, 游离氨基酸则主要在肠道吸收, 氨基酸需先参与消化道壁的代谢, 再由门静脉进入肝脏, 经过肝脏的清除后分配至外周循环供给养分, 因此肝脏是限制外周组织氨基酸营养的重要器官^[15]。而紫荃泽兰对动物的多个器官有毒性, 其中肝脏是紫荃泽兰毒性物质的靶器官, 在摄取毒素的解毒中起着至关重要的作用^[16], 紫荃泽兰的毒性作用影响肝脏和全身的新陈代谢; 紫荃泽兰也有导致羊的胃部消化功能障碍, 甚至出现反胃、呕吐等临床症状^[17], 这些毒性作用通过影响消化系统功能和对肝脏的损伤, 从而影响反刍动物消化、吸收和分配氨基酸, 影响反刍动物肌肉中氨基酸组成。FAO/WAO 提出高营养的蛋白质中不仅要求 EAA 种类齐全, 其比例也要适中, 理想的 EAA/TAA 约为 40%, EAA/NEAA 约 60% 或以上^[18]。本研究中试验组 A 和对照组 B 都是符合标准的优质肉品。而 A 组 EAA/TAA 和 EAA/NEAA 均

表 4 紫荃泽兰对建昌黑山羊背最长肌脂肪酸的影响
Table 4 Effect of *Ageratina adenophora* on fatty acids in longissimus dorsi muscle of Jianchang black goats

项目 Item	%	
	A组 (试验组) Group A (Test group)	B组 (对照组) Group B (Control group)
辛酸 C8:0	0.01	0.01
癸酸 C10:0	0.07	0.13
十一烷酸 C11:0	0.01	0.01
月桂酸 C12:0	0.06	0.08
十三烷酸 C13:0	0.00	0.01
肉豆蔻酸 C14:0	1.75	1.92
肉豆蔻烯酸 C14:1	0.12	0.08
十五烷酸 C15:0	0.42	0.41
十五烷烯酸 C15:1	0.01	0.01
棕榈酸 C16:0	21.42	23.21
棕榈油酸 C16:1	2.73	2.13
十七烷酸 C17:0	1.75	1.88
十七烷烯酸 C17:1	0.92	0.74
硬脂酸 C18:0	21.03	20.63
反油酸 C18:1n9t	0.92	2.00
油酸 C18:1n9c	43.56	40.60
反亚油酸 C18:2n6t	0.20	0.26
亚油酸 C18:2n6c	2.69	3.72
花生酸 C20:0	0.10	0.10
γ 亚麻酸 C18:3n6	0.04	0.05
二十碳烯酸 C20:1n9	0.08	0.13
α 亚麻酸 C18:3n3	0.53	0.33
二十一烷酸 C21:0	0.02	0.05
二十碳二烯酸 C20:2	0.05	0.04
榆树酸 C22:0	0.03	0.01
二十碳三烯酸 C20:3n6	0.01	0.01
顺芥子酸 C22:1n9	0.03	0.02
二十碳三烯酸 C20:3n3	0.01	0.01
二十三烷酸 C23:0	0.71	1.04
花生四烯酸 C20:4n6	0.01	0.00
二十二碳二烯酸 C22:2	0.00	0.00
木蜡酸 C24:0	0.01	0.00
二十碳五烯酸 C20:5n3	0.42	0.14
C24:1n9	0.00	0.01
C22:6n3	0.28	0.23
饱和脂肪酸 SFA	47.39	49.49
单不饱和脂肪酸 MUFA	48.37	45.72
多不饱和脂肪酸 PUFA	4.24	4.79
不饱和脂肪酸 UFA	52.61	50.51
合计 Total	100.00	100.00

SFA, saturated fatty acid; UFA, unsaturated fatty acid; MUFA, monounsaturated fatty acid; PUFA, polyunsaturated fatty acids.

高于 B 组,同时, A 组的 EAA 评分也高于或等于 B 组,尤其第一限制氨基酸赖氨酸,其含量的多少将影响人体对肉类中其他氨基酸的利用^[19]。这表明采食紫茎泽兰的山羊肉品氨基酸营养价值较高,这与姚朝晖等^[11]的研究相吻合:紫茎泽兰有较高的营养价值, EAA 含量高,可以作为优质饲草。但紫茎泽兰的毒性会造成动物机体损伤,作为饲料必须经脱毒处理;在紫茎泽兰重灾区适宜圈养山羊。

肉类氨基酸的种类与含量与肌肉的品质和风味密切相关^[20],氨基酸按呈味特性可分为鲜、甜、苦 3 种^[21],在多种鲜味氨基酸中, Glu 是最主要的鲜味物质^[22],本研究中 A 组鲜味氨基酸 Glu 和 Asp 以及甜味氨基酸 Ala 和 Gly 总量也低于 B 组,这表明 A 组羊肉的风味氨基酸含量减少,这可能是其肉质风味异于普通羊肉的原因之一。

3.2 紫茎泽兰对建昌黑山羊背最长肌中脂肪酸含量的影响

本研究发现,黑山羊肌肉脂肪酸检测结果差异均不明显,因此从含量分析,采食紫茎泽兰的试验组 A 和对照组 B 相比,其 SFA、PUFA 含量较少, MUFA 和 UFA 含量较高。反刍动物产品中沉积的脂肪酸来源于日粮中的脂肪酸、瘤胃微生物合成的脂肪酸和反刍动物自身合成的脂肪酸^[23];反刍动物肌肉中脂肪酸构成受到肌间脂肪的脂肪酸构成的很大影响,肌间脂肪的脂肪酸构成取决于日粮脂肪酸和自身的脂肪酸合成^[24]。因此,日粮和机体合成脂肪酸对反刍动物肌肉中脂肪酸的组成有很大影响。反刍动物消化脂肪主要通过瘤胃内微生物,尤其是细菌^[25],日粮中的脂肪是反刍动物体脂和乳脂的主要来源;同时,瘤胃微生物还发酵糖类,生成挥发性脂肪酸,是反刍动物主要的能量来源^[26];肝脏是机体合成脂肪酸的重要器官,脂肪酸合成酶催化合成脂肪酸,

并受到生长激素、胰岛素等激素和日粮成分的影响^[27],肝脏还是机体分泌胆汁的器官,与机体在肠道消化和吸收脂肪密切相关。紫茎泽兰的毒性成分会影响瘤胃内微生物的组成,对肝脏和全身都有毒性损害作用,使机体生长受到抑制,从而影响动物对脂肪的消化能力和机体所吸收和合成的脂肪酸种类及数量。反刍动物肌肉的 UFA/SFA (U/S) 值为 0.7 时对人类的健康最佳, SFA 过多有致心血管疾病的风险^[28],本研究中两组黑山羊 U/S 值均超过 0.7, A 组大于 B 组,两组的肉品都不益于人体健康,但 B 组较 A 组好一点。人类自身不能合成,只能从食物中获取的必需脂肪酸均为 PUFA^[29], B 组 PUFA 含量高于 A 组,说明将紫茎泽兰添加到饲料中降低肉品的脂肪酸营养价值。

脂肪酸对肉品质的影响主要在风味和抗氧化能力等方面^[30],羊肉膻味与硬脂酸 (C18:0)、油酸 (C18:1)、亚麻酸 (C18:3n) 含量正相关,与亚油酸 (C18:2n6c) 含量负相关^[12]。本研究中 A 组硬脂酸、油酸、亚麻酸的总含量高于 B 组,亚油酸含量低于 B 组,表明 A 组肉品膻味更重。羊肉中的挥发性物质主要来源于脂质氧化,尤其醛类,对肉类风味影响明显,阈值低,一般来自不饱和脂肪酸氧化^[31], A 组 UFA 含量较 B 组高,说明 A 组肉品的风味可能较 B 组明显。

4 结论

德昌县地区自然放牧采食紫茎泽兰的建昌黑山羊肌肉中 EAA、NEAA 和 TAA 含量减少,风味氨基酸减少; SFA 和 PUFA 含量减少, UFA 和 MUFA 含量增加。在紫茎泽兰入侵地区不适宜放养山羊,紫茎泽兰有作为动物优质饲料的潜力,需要进行脱毒处理后使用。

参考文献 References:

- [1] SANG W G, ZHU L, AXMACHER J C. Invasion pattern of *Eupatorium adenophorum* spreng in southern China. *Biological Invasions*, 2010, 12(6): 1721-1730.
- [2] 张新跃,唐川江,周俗,侯众,张绪校,何萍,胡旭. 四川省紫茎泽兰监测报告. *草业科学*, 2008, 25(7): 91-98.
ZHANG X Y, TANG C J, ZHOU S, HOU Z, ZHANG X X, HE P, HU X. *Eupatorium adenophorum* monitoring report of Sichuan in 2006. *Pratacultural Science*, 2008, 25(7): 91-98.
- [3] 符杰,胡延春,陈伟红,翁嘉华,胡力文,石真,何亚军,莫全,王娅,任志华,彭广能,左之才,邓俊良. 紫茎泽兰对萨能奶山羊血

- 常规及重要脏器病理学的影响. *草业科学*, 2018, 35(2): 434-440.
- FU J, HU Y C, CHEN W H, WENG J H, HU L W, SHI Z, HE Y J, MO Q, WANG Y, REN Z H, PENG G N, ZUO Z C, DENG J L. Dosage-dependent effects of *Eupatorium adenophorum* on Saanen goat blood levels and the histopathology of several organs. *Pratacultural Science*, 2018, 35(2): 434-440.
- [4] 陈伟红. 饲喂不同剂量紫茎泽兰对萨能奶山羊临床病理学影响的研究. 成都: 四川农业大学硕士学位论文, 2015.
- CHEN W H. Study on the effect of clinical pathology of Saanen goat using different dose of *Eupatorium adenophorum* as supplement diet. Master Thesis. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2015.
- [5] 何亚军. 紫茎泽兰致萨能奶山羊肝细胞周期阻滞与凋亡及凋亡通路研究, 成都: 四川农业大学硕士学位论文, 2016.
- HE Y J. Study on the cell cycle arrest and apoptosis induced by *E. adenopharum* in hepatocytes of Saanen goat and its apoptosis pathway. Master Thesis. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2016.
- [6] 刘哲, 吴建平. 羊肉风味的影响因素及研究现状. *中国畜牧兽医*, 2005, 32(1): 28-31.
- LIU Z, WU J P. Influence factors and present research conditions of muttony flavor. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2005, 32(1): 28-31.
- [7] 杨国锋, 夏美翠, 刘志英, 孙娟, 郝智慧, 刘洪庆. 不同中药复方对山羊肉中氨基酸及脂肪酸含量的影响. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2013, 30(2): 118-123.
- YANG G F, XIA M C, LIU Z Y, SUN J, HAO Z H, LIU H Q. The effect of different herbal compound on the amino acid and fatty acid of dairy goat mutton. *Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science)*, 2013, 30(2): 118-123.
- [8] 陈鑫炳, 范素琴. 羊肉风味的研究. *肉类工业*, 2010(9): 36-39.
- CHEN X B, FAN S Q. Research in mutton flavor production mechanisms. *Meat Industry*, 2010(9): 36-39.
- [9] 闫忠心, 靳义超. 基于氨基酸和脂肪酸的藏羊肉质量评价. *食品工业科技*, 2016, 37(3): 351-354.
- YAN Z X, JIN Y C. Quality evaluation of tibetan mutton based on amino acid and fatty acid. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(3): 351-354.
- [10] 彭永佳, 王佳堃, 林嘉, 刘建新. 不同羊种及部位对脂肪源挥发性物质组成的影响. *中国食品学报*, 2013, 13(7): 229-235.
- PENG Y J, WANG J K, LIN J, LIU J X. Effects of lamb species and adipose location on volatile characterization. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2013, 13(7): 229-235.
- [11] 姚朝晖, 张无敌, 刘祖明. 恶性有毒杂草紫茎泽兰的防治与利用. *农业与技术*, 2003, 23(1): 23-28.
- YAO Z H, ZHANG W D, LIU Z M. Control and utilization of the poisonous weed *Eupatorium adenophorum*. *Agriculture & Technology*, 2003, 23(1): 23-28.
- [12] 王建忠, 师希雄, 李雪茹, 余群力, 田铸. 甘南欧拉藏羊脏器脂肪酸与氨基酸测定及营养评价. *食品与发酵工业*, 2019, 45(20): 256-261.
- WANG J Z, SHI X X, LI X R, YU Q L, TIAN Z. Determination and nutritional evaluation of fatty acids and amino acids in offals of Gannan Oula Tibetan sheep. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(20): 256-261.
- [13] 孙岚, 邓兴菊. 紫茎泽兰饲喂山羊的试验报告. *草业与畜牧*, 2009(7): 56-57, 59.
- SUN L, DENG X J. Experimental report on the feeding of goats with *Ageratina adenophora*. *Prataculture & Animal Husbandry*, 2009(7): 56-57, 59.
- [14] 黄健, 杨福合, 李光玉, 鲍坤, 王凯英. 反刍动物氨基酸营养研究进展. *中国畜牧兽医*, 2014, 41(5): 116-120.
- HUANG J, YANG F H, LI G Y, BAO K, WANG K Y. Research progress on amino acid nutritional in ruminants. *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2014, 41(5): 116-120.
- [15] 甄玉国, 卢德勋, 马宁, 王洪荣. 反刍动物氨基酸营养研究进展. *饲料工业*, 2001, 22(7): 16-22.
- ZHEN Y G, LU D X, MA N, WANG H R. Research advancement of amino acid nutrition for ruminant. *Feed Industry*, 2001, 22(7): 16-22.
- [16] SUN W, ENG C R, YUE D, HU Y C. Involvement of mitochondrial dysfunction in hepatotoxicity induced by *Ageratina adenophora* in mice. *Journal of Zhejiang University-Science B (Biomedicine & Biotechnology)*, 2019, 20(8): 693-701.
- [17] 王朝朝, 赵宝玉, 樊泽锋, 樊月圆, 谭承建. 紫茎泽兰及其危害研究进展. *动物医学进展*, 2005, 26(5): 45-48.
- WANG Y C, ZHAO B Y, FAN Z F, FAN Y Y, TAN C J. The advance in *Eupatorium adenophorum* spreng and its damage. *Progress in Veterinary Medicine*, 2005, 26(5): 45-48.

- [18] 孙丽敏, 姜怀志, 马志华, 马莉. 乾华肉用美利奴羊与小尾寒羊背最长肌营养成分比较研究. 中国畜牧杂志, 2018, 54(9): 54-58.
SUN L M, JIANG H H, MA Z H, MA L. Comparative study on the nutritional composition of the longest dorsal muscle of Qianhua Mutton Merino and Small Tail Han Sheep. Chinese Journal of Animal Science, 2018, 54(9): 54-58.
- [19] 林晶. 必需氨基酸限、限制性氨基酸与有效氨基酸的概念. 养殖技术顾问, 2014(1): 46.
LIN J. Concepts of essential amino acids, restricted amino acids, and available amino acids. Technical Advisor for Animal Husbandry, 2014(1): 46.
- [20] 侯川川, 马莲香, 邱家凌, 鲁鑫涛, 祝家明, 周琴, 刘兵, 吴阿团, 余东游. 饲料类型对育肥湖羊肌肉脂肪酸和氨基酸组成的影响. 中国畜牧杂志, 2019, 55(12): 106-110.
HOU C C, MA L X, QIU J L, LU X T, ZHU J M, ZHOU Q, LIU B, WU A T, YU D Y. Effects of dietary types on fatty acids and amino acids composition in muscle of fattening Hu Sheep. Chinese Journal of Animal Science, 2019, 55(12): 106-110.
- [21] 刘兴勇, 林涛, 尹本林, 杜丽娟, 刘宏程, 汪禄祥. 环境和生长阶段对羊肚菌氨基酸的呈味影响. 精细化工, 2018, 35(12): 2058-2064.
LIU X Y, LIN T, YIN B L, DU L J, LIU H C, WANG L X. Effects of environment and different growth stages on free amino acid taste contribution of Morels. Fine Chemicals, 2018, 35(12): 2058-2064.
- [22] 王玉琴, 田志龙, 施会彬, 钟甲丽, 任国艳, 李元晓, 刘玉梅, 吴秋珏, 王建平, 张自强, 丁轲, 余祖华, 赵战勤. 湖羊肌肉营养特点及肌纤维组织学特性. 动物营养学报, 2017, 29(8): 2867-2874.
WANG Y Q, TIAN Z L, SHI H B, ZHONG J L, REN G Y, LI Y X, LIU Y M, WU Q Y, WANG J P, ZHANG Z Q, DING K, YU Z H, ZHAO Z Q. Nutritional characteristics and muscle fiber histological characters of muscle from Hu Sheep. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2017, 29(8): 2867-2874.
- [23] 金磊, 王立志, 王之盛, 薛白, 彭全辉. 瘤胃微生物与反刍动物产品脂肪酸组成的关系. 饲料工业, 2018, 39(9): 51-55.
JIN L, WANG L Z, WANG Z S, XUE B, PENG Q H. Advance in the relationship between rumen microorganisms and fatty acid composition of ruminant products. Feed Industry, 2018, 39(9): 51-55.
- [24] ENSER M, HALLETT K, HEWITT B, FURSEY G A, WOOD J D. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. Meat Science, 1996, 42(4): 443-456.
- [25] LATHAM W J, STORRY J E, SHARPE M E. Effect of low-roughage diets on the microflora and lipid metabolism in the rumen. Applied Microbiology, 1972, 24(6): 871-877.
- [26] 张云凯, 张秀江. 苜蓿与干草混合青贮对肉羊生长性能、养分表观消化率及瘤胃发酵性能的影响. 中国饲料, 2020(11): 21-124.
ZHANG Y K, ZHANG X J. Effects of mixed silage of alfalfa and hay on growth performance, apparent nutrient digestibility and rumen fermentation performance of mutton sheep. China Feed, 2020(11): 21-124.
- [27] 颜新春, 汪以真, 许梓荣. 动物脂肪酸合成酶 (fas) 基因表达的调控. 动物营养学报, 2002, 14(2): 1-4, 8.
YAN X C, WANG Y Z, XU Z R. Regulation of fatty acid synthase (fas) gene expression in animals. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2002, 14(2): 1-4, 8.
- [28] 茅慧玲, 刘建新. 反刍动物肌肉脂肪酸营养调控研究进展. 饲料工业, 2010, 31(23): 30-34.
MAO H L, LIU J X. Research advance on nutrition manipulation of fatty acids of muscle for ruminant. Feed Industry, 2010, 31(23): 30-34.
- [29] 刘怒涛, 孙云龙. 必需脂肪酸与人类健康: “2002年必需脂肪酸与人类营养健康国际研讨会”综述. 沿海企业与科技, 2002(4): 26-28.
LIU N T, SUN Y L. Essential fatty acids and human health: A review of the 2002 international symposium on essential fatty acids and human nutritional health. Coastal Enterprises and Science & Technology, 2002(4): 26-28.
- [30] 李晓亚, 唐德富, 李发弟, 李飞. 反刍动物肌肉脂肪酸对肉品质的影响及其调控因素. 动物营养学报, 2016, 28(12): 29-36.
LI X Y, TANG D F, LI F D, LI F. Muscle fatty acid affects meat quality and its regulatory factors in ruminants. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(12): 29-36.
- [31] 赵万余, 李爱华. 宁夏滩羊不同部位肉中挥发性风味物质分析. 安徽农业科学, 2012, 40(5): 2725-2727.
ZHAO W H, LI A Y. Volatile flavor composition in mutton of Ningxia tan sheep. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2012, 40(5): 2725-2727.

(责任编辑 魏晓燕)