动物营养学报 2022,34(1):432-441
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2022.01.041

饲粮中添加过瘤胃赖氨酸对福清山羊生长性能、养分表观消化率和氮代谢的影响

刘　远[1]　吴贤锋[1]　占今舜[2]　霍俊宏[2]　黄勤楼[1]　李文杨[1*]

(1.福建省农业科学院畜牧兽医研究所,福州 350013;2.江西省农业科学院畜牧兽医研究所,南昌 330200)

摘　要: 本试验旨在研究饲粮中添加过瘤胃赖氨酸(RPLys)对福清山羊生长性能、养分表观消化率和氮代谢的影响。选择体况良好、体重[(12.06±1.65) kg]相近的4月龄福清山羊羯羊30只,采用单因素试验设计,随机分为5组,每组6只。对照组饲喂基础饲粮,试验Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ组在基础饲粮中每只羊添加2.5、5.0、7.5和10.0 g/d RPLys。预试期15 d,正试期60 d。结果表明:1)饲粮中添加RPLys对福清山羊干物质采食量(DMI)、总能采食量、初始体重、终末体重、总增重和平均日增重(ADG)均无显著影响($P>0.05$),试验Ⅰ组的DMI最高,试验Ⅱ组的总增重和ADG最高。2)饲粮中添加RPLys对福清山羊干物质、有机物、总能、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的表观消化率均无显著影响($P>0.05$)。3)对照组的进食氮显著低于各试验组($P<0.05$),试验Ⅳ组的进食氮显著高于试验Ⅰ和Ⅱ组($P<0.05$)。试验Ⅳ组的粪氮显著高于试验Ⅱ组($P<0.05$)。试验Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组的沉积氮显著高于对照组($P<0.05$)。各组之间的尿氮、排泄氮、氮沉积率和氮生物学价值无显著差异($P>0.05$)。由此可见,在本试验条件下,饲粮中添加RPLys对福清山羊生长性能无显著影响,饲粮中添加2.5~7.5 g/d RPLys显著提高了福清山羊的沉积氮。

关键词: 过瘤胃赖氨酸;福清山羊;生长性能;消化代谢

中图分类号:S826　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1006-267X(2022)01-0432-10

畜禽饲粮配制中可以根据氨基酸营养需要量,直接添加适宜水平氨基酸配制成能改善动物肠道健康和养殖环境的低蛋白质饲粮,对缓解我国畜禽养殖污染和蛋白质饲料资源短缺具有重要意义[1]。由于瘤胃的存在,羊饲粮中添加未经处理的氨基酸会被瘤胃微生物降解,导致饲粮提供的氨基酸种类和数量不能真实反映羊对氨基酸的吸收和利用水平。为了避免氨基酸的瘤胃降解,生产中可以通过将特定氨基酸进行物理包被或化学保护等方式加工成过瘤胃氨基酸,其进入小肠后能以正常氨基酸的形式被吸收利用[2]。

已有研究表明,在饲粮中添加过瘤胃氨基酸能提高羊的饲料利用率和生长性能,是调控羊氨基酸营养平衡的有效方法。郭伟等[3]研究表明,低蛋白质饲粮中补充过瘤胃氨基酸可以满足杜寒杂交肉羊育肥阶段的营养需要,节省蛋白质饲料。韩娥[4]研究表明,低蛋白质饲粮中添加过瘤胃氨基酸可降低黔北麻羊的氮排泄,提高饲粮蛋白质利用率。牛骁麟[5]、郭俊强[6]分别研究表明,饲粮中添加适量过瘤胃氨基酸能提高湖羊和滩羊的生长性能和屠宰性能。目前,过瘤胃氨基酸营养的研究多集中于少数肉用绵羊品种,过瘤胃氨基酸

收稿日期:2021-05-21

基金项目:福建省省属公益类科研院所基本科研专项(2019R1026-10,2020R10260014);江西现代农业科研协同创新专项(JXXTCX201702-04)

作者简介:刘　远(1985—),男,湖北仙桃人,副研究员,硕士,从事地方山羊品种种质特性及营养需要量研究。E-mail:seayuan521@163.com

* **通信作者:**李文杨,副研究员,E-mail:wy369@sina.com

对不同品种生长性能的促进效果和适宜添加剂量存在差异,且我国大部分肉用地方山羊品种的过瘤胃氨基酸营养需要报道缺乏,限制了过瘤胃氨基酸在肉羊生产中的科学合理利用[7]。

福清山羊是福建省优良地方肉用山羊品种,具有耐粗饲、肉质风味好等特点[8],尚未见该品种氨基酸需要量和过瘤胃氨基酸的育肥应用研究报道。赖氨酸(Lys)被认为是反刍动物的第一或第二限制性氨基酸,过瘤胃赖氨酸(rumen-protected lysine,RPLys)的开发与应用是反刍动物营养的研究热点。本研究根据福清山羊的养殖实际,研究饲粮中添加不同水平 RPLys 对生长期福清山羊生长性能、养分表观消化率和氮代谢的影响,为该品种氨基酸营养需要和 RPLys 的高效利用提供参考数据。

1　材料与方法

1.1　试验设计

试验于 2020 年 7—11 月在福建省农业科学院渔溪肉羊养殖基地内进行,分为饲养试验和消化代谢试验。选择经同一批次同期发情处理所生的体况良好、体重[(12.06±1.65) kg]相近的 4 月龄福清山羊羯羊 30 只,采用单因素试验设计,随机分为 5 组,每组 6 只羊,各组单独饲养于约 5 m^2的小栏内。对照组饲喂基础饲粮,试验Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ组在基础饲粮中每只羊分别添加 2.5、5.0、7.5 和 10.0 g/d RPLys(由杭州某饲料有限公司提供,有效 Lys 含量 50%,过瘤胃率 85%以上)。饲养试验全期 75 d,其中预试期 15 d,正试期 60 d。

基础饲粮精粗比为 3∶7,营养水平根据福清山羊实际养殖条件并参照 NRC(2007)10 kg 体重山羊平均日增重(ADG)100 g 生长需要[9],按照羊场全混合日粮(TMR)形式加工配制,参照刘洁[10]的方法计算饲粮的代谢能(ME),基础饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1　基础饲粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis)　　%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels[2)]	含量 Content
杂交狼尾草 Hybrid penisetum	60.0	有机物 OM	89.5
粗米糠 Coarse rice bran	10.0	总能 GE/(MJ/kg)	16.6
玉米 Corn	16.0	代谢能 ME/(MJ/kg)	7.8
豆粕 Soybean meal	7.0	粗蛋白质 CP	10.1
麸皮 Wheat bran	5.0	粗灰分 Ash	10.5
石粉 $CaCO_3$	0.4	中性洗涤纤维 NDF	70.1
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.5	酸性洗涤纤维 ADF	63.9
食盐 NaCl	0.5	钙 Ca	0.98
预混料 Premix[1)]	0.6	磷 P	0.49
合计 Total	100.0	赖氨酸 Lys	0.54

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: Cu 20.0 mg,Fe 80.0 mg,Mn 30.0 mg,Zn 80.0 mg,I 1 mg,Se 0.30 mg,VA 20 000 IU,VD 5 000 IU,VE 50.0 mg。

2) 代谢能为计算值,其他均为实测值。ME was a calculated value, while the others were measured values.

消化代谢试验在饲养试验中期进行,采用全收粪收尿法。各组随机选取 3 只试验羊,1 只羊 1 个重复,试验羊单独置于自制消化代谢笼(可将粪便与尿液自动分离)内饲喂。消化代谢试验期内各组试验羊的饲养管理、饲粮投喂等与饲养试验一致。消化代谢试验全期 12 d,其中预试期 7 d,正试期 5 d。

1.2　饲养管理

试验前和试验期间对圈舍和消化代谢笼进行彻底的清扫和消毒。所有试验羊于 15 日龄统一去势,在试验前统一采用伊维菌素驱虫。根据预试期试验羊的自由采食量,按每只羊 600 g/d 的标准进行饲喂,每日 09:00、19:00 各喂全天饲粮的 1/2,自由采食和饮水。

1.3 样品采集和指标测定

1.3.1 生长性能

每次投料后 1 h 收集各组未采食的剩余饲料，对各组每日的剩余饲料进行称重并记录剩料量，并计算各组每只试验羊的平均干物质采食量(DMI)和总能采食量(GE intake)，其中消化代谢试验期间的数据不收集。分别于试验正试期开始及结束时，对各组的试验羊逐只进行称重，记录初始体重(IBW)和终末体重(FBW)，计算每只试验羊的总增重和 ADG。计算公式如下：

DMI(g/d)=(投料干物质重-剩料干物质重)/6；

总能采食量(MJ/d)=(投料总能量-剩料总能量)/6；

总增重(kg)=IBM-FBW；

ADG(g/d)=(总增重/60)×1 000。

1.3.2 消化代谢试验

进入消化代谢试验正试期后，每日 08:00 收集、称取和记录每只试验羊前 1 d 的排粪量，按总量 10%取样后冷冻保存，另取总量 5%的粪样加入 10%硫酸进行固氮处理，用于粪氮含量的测定。用装有 200 mL 10% H_2SO_4 的塑料桶收集尿液，稀释至 5 L，对稀释尿液充分混合，用纱布过滤后每天取样 100 mL 冷藏保存。按照 1.3.1 中的方法收集各试验羊每日未采食的剩余饲料。消化代谢试验全部结束后，将每只试验羊收集的粪样和剩余饲料分别混合后进行营养成分测定与分析；将每只试验羊正试期 5 d 内采集的尿样分别混合后于-20 ℃冰箱保存。

1.4 样品常规化学成分

试验饲粮、剩余饲料和粪样干物质(DM)含量为原料经 105 ℃烘干至恒重后的重量，其他营养成分含量的测定均为 DM 基础；粗灰分(Ash)含量为 DM 样品经坩埚灼烧至恒重后的重量，有机物(OM)含量为 DM 含量减去 Ash 含量；总能(GE)采用氧弹式热量计测定；粗蛋白质(CP)含量按照 GB/T 6432—2018 测定[11]；粗脂肪(EE)含量按照 GB/T 6433—2006 测定[12]；磷(P)含量按照 GB/T 6437—2018 测定[13]；钙(Ca)含量按照 GB/T 13885—2017 测定[14]；中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)含量采用 Van Soest[15]的方法测定。体内消化代谢试验中的尿液氮含量采用凯氏定氮法测定。Lys 含量利用日立 L-8800 氨基酸自动分析仪，按照 GB/T 18246—2000 测定[16]。

养分表观消化率参照 Adeola[17]的公式计算：

养分表观消化率(%)=100×(食入该含养分量-粪中该养分含量)/食入该养分含量。

氮代谢相关指标的计算公式：

排泄氮(g/d)=粪氮+尿氮；

沉积氮(g/d)=食入氮-排泄氮；

氮沉积率(%)=100×沉积氮/食入氮；

氮生物学价值(%)=100×沉积氮/吸收氮。

1.5 数据处理与统计分析

利用 SPSS 17.0 软件进行试验数据的统计分析，采用 one-way ANOVA 程序进行方差分析，选用 Duncan 氏多重比较法检验组间数据，结果用平均值±标准差表示，$P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 饲粮中添加 RPLys 对福清山羊生长性能的影响

由表 2 可知，饲粮中添加 RPLys 对福清山羊 DMI、总能采食量、IBW、FBW、总增重和 ADG 均无显著影响($P>0.05$)。在数值上，4 个试验组的 DMI、总增重和 ADG 均高于对照组，其中试验Ⅰ组的 DMI 最高，试验Ⅱ组的总增重和 ADG 最高，表明饲粮中添加 RPLys 对福清山羊的生长具有一定的促进作用。

2.2 饲粮中添加 RPLys 对福清山羊养分表观消化率的影响

由表 3 可知，饲粮中添加 RPLys 对福清山羊 DM、OM、GE、NDF 和 ADF 的表观消化率均无显著影响($P>0.05$)。在数值上，试验Ⅱ组的 DM、OM、GE、NDF 和 ADF 的表观消化率均为最高。

2.3 饲粮中添加 RPLys 对福清山羊氮代谢的影响

由表 3 可知，对照组的进食氮显著低于各试验组($P<0.05$)，试验Ⅳ组的进食氮显著高于试验Ⅰ和Ⅱ组($P<0.05$)。试验Ⅳ组的粪氮显著高于试验Ⅱ组($P<0.05$)，其余各组之间无显著差异($P>0.05$)。试验Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ组的沉积氮显著高于对照组($P<0.05$)。各组之间的尿氮、排泄氮、氮沉积率和氮生物学价值无显著差异($P>0.05$)。

表 2　饲粮中添加 RPLys 对福清山羊生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary RPLys on growth performance of *Fuqing* goats ($n=6$)

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ	试验Ⅳ组 Trial group Ⅳ	*P* 值 *P*-value
干物质采食量 DMI/(g/d)	458.39±84.74	481.16±50.03	461.26±53.74	462.56±64.71	476.09±56.56	0.824
总能采食量 GE intake/(MJ/d)	7.54±4.15	7.92±2.18	7.55±2.40	7.59±2.84	7.81±2.58	0.818
初始体重 IBW/kg	11.85±1.64	12.45±1.89	12.30±1.69	12.13±1.61	12.07±1.30	0.975
终末体重 FBW/kg	15.62±1.65	16.47±2.28	16.50±2.04	15.95±1.64	15.90±1.26	0.893
总增重 Total gain/kg	3.76±0.40	4.02±0.52	4.21±0.52	3.82±0.38	3.84±0.39	0.434
平均日增重 ADG/(g/d)	62.71±6.63	66.94±8.75	70.11±8.78	63.65±6.38	63.97±6.55	0.434

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

表 3　饲粮中添加 RPLys 对福清山羊养分表观消化率的影响

Table 3　Effects of dieary RPLys on nutrient apparent digestibilities of *Fuqing* goats ($n=3$)　%

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ	试验Ⅳ组 Trial group Ⅳ	*P* 值 *P*-value
干物质 DM	66.36±9.33	65.99±9.22	71.73±11.58	68.66±12.17	63.46±10.59	0.292
有机物 OM	69.13±8.54	68.60±8.50	74.01±10.65	70.92±11.37	66.13±9.97	0.278
总能 GE	68.62±8.70	68.25±8.62	73.72±10.87	70.01±11.95	65.36±10.09	0.266
中性洗涤纤维 NDF	57.08±13.05	58.44±12.36	62.58±15.95	58.19±17.64	48.10±13.86	0.124
酸性洗涤纤维 ADF	45.83±16.30	52.75±14.77	59.15±17.44	54.36±19.52	42.56±15.25	0.077

表 4　饲粮中添加 RPLys 对福清山羊氮代谢的影响

Table 4　Effects of dietary RPLys on nitrogen metabolism of *Fuqing* goats ($n=3$)

项目 Items	对照组 Control group	试验Ⅰ组 Trial group Ⅰ	试验Ⅱ组 Trial group Ⅱ	试验Ⅲ组 Trial group Ⅲ	试验Ⅳ组 Trial group Ⅳ	*P* 值 *P*-value
进食氮 N intake/(g/d)	8.08±0.99^{c}	9.01±0.39^{b}	9.08±0.42^{b}	9.32±0.39^{ab}	9.60±0.37^{a}	<0.001
粪氮 Feces N/(g/d)	1.99±0.64^{ab}	2.03±0.49^{ab}	1.56±0.63^{b}	1.80±0.68^{ab}	2.33±0.81^{a}	0.032
尿氮 Urine N/(g/d)	2.24±0.87	2.11±0.53	2.01±0.88	2.39±0.97	2.61±1.13	0.391
排泄氮 Excreted N/(g/d)	4.23±1.08	4.14±0.58	3.57±1.21	4.19±1.37	4.94±1.87	0.091
沉积氮 N deposition/(g/d)	3.85±0.99^{b}	4.87±0.58^{a}	5.51±1.08^{a}	5.13±1.41^{a}	4.66±1.72^{ab}	0.015
氮沉积率 N retention rate/%	47.80±11.18	54.04±6.04	60.89±12.29	55.01±14.57	48.80±18.42	0.072
氮生物学价值 NVB/%	63.25±12.80	69.87±6.99	73.20±12.33	67.51±14.49	62.60±19.49	0.213

3 讨 论

3.1 饲粮中添加 RPLys 对福清山羊生长性能的影响

DMI 和 ADG 是体现育肥羊生长性能的重要指标,受饲粮适口性、营养水平[3,5]、肉羊品种以及生产阶段[18]等多种因素的影响。肉羊 ADG 和 DMI 呈线性关系[19],本研究采用日增重 100 g 的营养需要量配制试验饲粮,但试验期间试验羊的 DMI(458.39~484.16 g/d)仅为 NRC(2007)要求的 70%左右,实际 ADG 为 62.71~70.11 g/d。造成试验羊 DMI 偏低的主要原因可能是杂交狼尾草的含水量(90%左右)较高,导致整体饲粮的含水量偏高,进而影响了试验羊的 DMI。

Lys 和蛋氨酸(Met)被认为是反刍动物氨基酸营养平衡中的第一或第二限制性氨基酸[9,20],由于瘤胃的存在,饲粮 Lys 的添加方式以 Lys 和 RPLys 为主。李海英等[21]研究表明,适量添喂未经处理的 Lys 可显著促进 240 日龄以内羔羊的生长,Lys 适宜添加量随着羔羊日龄的增长而降低。李雪玲等[22]研究表明,在平衡氨基酸饲粮中扣除 30%的 Lys 对湖羊羔羊的 DMI 无显著影响,但显著降低了 ADG。这说明饲粮添加 Lys 对不同生长时期的肉羊生长具有促进作用,这种促进作用主要是由于饲粮中的 Lys 可调控瘤胃微生物的群落组成,增加瘤胃细菌总数,增加到达皱胃养分的含量和前胃有机物的消化量,从而增加羔羊的营养供应[23-24]。

研究表明,饲粮添加不同水平的 RPLys 对滩羊[25]、湖羊[5]和黔北麻羊[4]的 DMI 无显著影响,与本研究结果一致。牛骁麟[5]研究表明,饲粮中添加 RPLys 显著增加了湖羊的 ADG。而高昌鹏等[25]研究表明,饲粮中添加 RPLys 对滩羊 ADG 无显著影响,与本研究结果一致。这可能是由于添加 RPLys 饲粮中的 Lys 在瘤胃内降解较少,对瘤胃微生物的影响有限,而低剂量 RPLys 的添加对饲粮整体适口性和营养水平亦未产生较大影响,从而不影响试验羊的采食。而过瘤胃后的 RPLys 释放的 Lys 改善了试验羊的代谢,因此促进了部分试验羊 ADG 的增长。同时,RPLys 的添加量和来源差异也会造成不同研究结果之间的差异[5],不同品种及生长阶段对 Lys 的需求量的差异可能也是影响 RPLys 育肥效果的关键因素。

云强等[26]研究证实,饲粮中添加 Lys 和 Met 比例为 3∶1 有利于犊牛生长。但瘤胃发育成熟后反刍动物饲粮中添加适宜的氨基酸类型和剂量的研究结果存在一定差异。有研究表明,饲粮中添加过瘤胃处理的 Lys、Met、苏氨酸和精氨酸可弥补饲粮蛋白质缺乏对育肥羊造成的影响[27],添加复合过瘤胃氨基酸(Met、亮氨酸和异亮氨酸)能显著提高后备牛的 ADG[28],而围产期低能饲粮中添加 RPLys 并不能替代正常标准能量水平饲粮[29]。在肉羊中,牛骁麟[5]研究表明单独添加 RPLys 和过瘤胃蛋氨酸(RPMet)对湖羊 ADG 的促进作用优于复合添加 2 种过瘤胃氨基酸;张艳梅[30]研究表明,滩羊 RPMet 的适宜添加量为 4.5 g/d,RPLys 的适宜添加量为 0 g/d。本研究表明,饲粮中添加 5.0 g/d RPLys 在一定程度上有利于福清山羊的育肥生长。这说明反刍动物的氨基酸营养需要量较为复杂,受饲粮成分、品种等因素的影响较大。鉴于地方山羊品种的氨基酸营养需要的研究报道缺乏,有必要进一步开展福清山羊的适宜氨基营养需要量研究,以达到对饲粮蛋白质和氨基酸的最佳利用率。

3.2 饲粮中添加 RPLys 对福清山羊养分表观消化率的影响

饲粮中各养分的表观消化率是反映试验动物对饲粮养分的利用及机体的生理状态的重要指标,主要受饲料原料、营养水平和纤维含量等因素的影响[31]。DM 和 OM 的表观消化率反映了试验动物对饲粮平均消化能力。本研究结果表明,各组之间 DM 和 OM 的表观消化率无显著差异,与湖羊[5]和滩羊[25]中的研究结果一致。能量是动物体内一切代谢和生产活动的基础,由饲粮中的能量成分提供,反刍动物能在瘤胃微生物的作用下利用饲粮中的纤维素和半纤维素等结构性碳水化合物为机体提供能量来源,NDF 和 ADF 的表观消化率是反映反刍动物对饲粮粗纤维利用能力的主要指标,也影响饲粮中 GE 的表观消化率。瘤胃中纤维降解菌对纤维的降解效率取决于可发酵碳水化合物和氮源的合适比例[32],由于不同加工方式的过瘤胃氨基酸在不同反刍动物瘤胃中的过瘤胃效率存在差异,而在瘤胃中降解的氨基酸会影响瘤胃微生物的生长,进一步影响试验动物对饲粮 NDF 和 ADF 的表观消化率,导致不同研究的结果具有不一致性[5]。高昌鹏等[25]研究表明,在育肥

滩羊饲粮中添加 5 g/d RPLys 的 NDF 表观消化率显著高于其他组,而 ADF 表观消化率不受 RPLys 添加水平的影响,本研究表明,饲粮中添加 RPLy 对 NDF 和 ADF 的表观消化率均无显著影响,说明肉羊品种可能也是影响饲料粗纤维降解的关键因素之一[8]。

3.3　饲粮中添加 RPLys 对福清山羊氮代谢的影响

饲粮中的蛋白质在动物体内通过消化、吸收等代谢过程,最终以粪氮和尿氮形式排出体外,也是造成畜禽养殖污染的主要原因之一[33]。在饲粮中添加过瘤胃氨基酸是平衡动物小肠可吸收氨基酸的最有效途径,氨基酸平衡饲粮能发挥动物的最大消化潜力,对降低畜禽氮排泄具有积极作用[34-35]。大部分研究结果表明饲粮中添加 RPLys 对反刍动物的进食氮无显著影响[5,19,36]。而本研究结果表明,各组进食氮随着饲粮 RPLys 添加水平的增加而增加。这可能是由于本研究的基础饲粮结合了福清山羊的生产实际配制,饲粮含水量偏高而粗蛋白质水平偏低,各组试验羊 DMI 均未达到 NRC(2007)的采食量水平,导致额外条件 RPLys 对试验羊的进食氮产生了显著影响。

不同反刍动物的粪氮和尿氮的排出量存在一定的差异[37-38]。刘远等[8]研究表明,福清山羊的粪氮和尿氮差异较小,与本研究结果较一致。尿氮能反映动物吸收和代谢氮的状况,在缺乏可代谢蛋白质的饲粮中添加适量 PRLys 可减少反刍动物的尿氮排泄量[39],但 PRLys 添加水平超过试验动物对 Lys 的正常需要量时,过量的 Lys 与精氨酸产生拮抗作用而引起代谢负担,增加尿氮排泄量,造成了 Lys 的浪费[25]。本研究结果表明,饲粮中添加 RPLys 对试验羊的尿氮无显著影响,说明添加 RPLys 没有对试验羊造成氨基酸的代谢负担,且适宜的添加水平还能减少粪氮的排出,而 RPLys 添加水平达到 10.0 g/d 时,不能被肠道吸收的 Lys 以粪氮的形式排出体外,增加了试验羊的排泄氮,造成浪费。

沉积氮和氮沉积率是动物对饲粮中蛋白质利用的最终体现。高昌鹏等[25]研究表明,饲粮中添加 RPLys 对滩羊沉积氮和氮沉积率无显著影响,而饲粮中添加 2.5 g/d RPLys 显著提高了氮的表观消化率,添加 7.5~10.0 g/d RPLys 组的氮生物学价值显著高于添加 2.5 g/d RPLys 组。这与本研究结果存在一定的差异,本研究结果表明,饲粮中添加 2.5~7.5 g/d RPLys 显著提高了福清山羊的沉积氮,但各组之间氮沉积率和氮的生物学价值无显著差异。分析认为除了饲粮营养成分不同造成结果的差异外,可能饲料原料组成、饲喂方式、肉羊年龄和品种等因素对 RPLys 的利用途径和效率也存在较大的差异。

4　结　论

在本试验条件下,饲粮中添加 RPLys 对福清山羊生长性能无显著影响,饲粮中添加 2.5~7.5 g/d RPLys 显著提高了福清山羊的沉积氮。

参考文献:

[1] 宋博,尹杰,郑昌炳,等.低蛋白质日粮在畜禽生产中的应用研究进展[J].中国饲料,2020(3):8-15.
SONG B,YIN J,ZHENG C B,et al.Advances in application of low protein diets in livestock and poultry production[J].China Feed,2020(3):8-15.(in Chinese)

[2] 李莉,凌浩,雷坤,等.过瘤胃蛋氨酸应用研究进展[J].中国奶牛,2019(8):16-19.
LI L,LING H,LEI K,et al.Research progress on the application of rumen protected methionine[J].China Dairy Cattle,2019(8):16-19.(in Chinese)

[3] 郭伟,王文义,崔凯,等.低蛋白饲粮补充 4 种氨基酸对肉用羊增重与肉质中氨基酸含量及血清学的影响[J].中国饲料,2021(3):16-23.
GUO W,WANG W Y,CUI K,et al.Effects of supplementation of amino acids in low-protein diets on weight gain,serum protein index and amino acid content in meat of fattening mutton sheep[J].China Feed,2021(3):16-23.(in Chinese)

[4] 韩娥.高位 LRP-AA 提高山羊蛋白质利用率的研究[D].硕士学位论文.贵阳:贵州大学,2019.
HAN E.Effect of highly-limiting rumen-protected amino acids on protein utilization in goats[D].Master's Thesis.Guiyang:Guizhou University,2019.(in Chinese)

[5] 牛骁麟.饲粮蛋白质水平与过瘤胃氨基酸对湖羊生长育肥性能、养分消化和瘤胃发酵的影响[D].硕士学位论文.兰州:兰州大学,2020.
NIU X L.Effect of dietary protein levels and rumen protected amino acids on growth and fattening performance,nutrient digestion and rumen fermentation of *Hu* sheep[D].Master's Thesis.Lanzhou:Lanzhou U-

niversity,2020.(in Chinese)

[6] 郭俊强.不同饲喂水平下添加过瘤胃蛋氨酸和赖氨酸对滩羊生长与肉质的影响[D].硕士学位论文.银川:宁夏大学,2019.
GUO J Q. Effects of rumen protected methionine (RPMet) and lysine (RPLys) on the growth and meat quality of *Tan* sheep at different feeding levels [D].Master's Thesis. Yinchuan: Ningxia University, 2019.(in Chinese)

[7] 李海霞,杨美英,吴文海,等.过瘤胃蛋氨酸对黔北麻羊生长性能、养分表观消化率、血浆生化指标及瘤胃发酵的影响[J].动物营养学报,2019,31(6):2933-2940.
LI H X, YANG M Y, WU W H, et al. Effects of rumen-protected methionine on growth performance, nutrient apparent digestibility, plasma biochemical indices and rumen fermentation of *Qianbeima* goats[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(6): 2933-2940.(in Chinese)

[8] 刘远,吴贤锋,黄勤楼,等.饲粮中不同青贮笋壳替代比例对肉羊消化代谢的影响[J].动物营养学报,2020,32(12):5712-5723.
LIU Y, WU X F, HUANG Q L, et al. Effects of different substitution ratios of bamboo shoot shell silage in diets on digestion and metabolism of mutton sheep [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(12):5712-5723.(in Chinese)

[9] NRC. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids[S]. Washington, D.C.: The National Academy Press, 2007.

[10] 刘洁.肉用绵羊饲料代谢能与代谢蛋白质预测模型的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.
LIU J. Prediciton of metabolizable energy and metabolizable protein in feeds for meat sheep[D]. Ph.D. Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2012.(in Chinese)

[11] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.饲料中粗蛋白的测定 凯氏定氮法:GB/T 6432—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude protein in feeds-kjeldahl method: GB/T 6432—2018 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.(in Chinese)

[12] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.饲料中粗脂肪的测定:GB/T 6433—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of crude fat in feeds: GB/T 6433—2006 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.(in Chinese)

[13] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.饲料中总磷的测定 分光光度法:GB/T 6437—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
State Administration for Market Regulation, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of phosphorus in feeds-spectrophotometry: GB/T 6437—2018 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.

[14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.饲料中钙、铜、铁、镁、锰、钾、钠和锌含量的测定 原子吸收光谱法:GB/T 13885—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Determination of the contents of calcium, copper, iron, magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc in feeds-method using atomic absorption spectrometry: GB/T 13885—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.

[15] VAN SOEST P J. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages [J]. Journal of Animal Science, 1967, 26(1): 119-128.

[16] 国家市场监督管理总局.饲料中氨基酸的测定:GB/T 18246-2000[S].北京:中国标准出版社,2000.
State Administration for Market Regulation. Determination of amino acids in feeds: GB/T 18246—2000 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2000.

[17] ADEOLA O. Digestion and balance techniques in pigs [M]. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2000.

[18] 李文杨,吴贤锋,黄勤楼,等.莲蓬壳作为肉羊粗饲料的营养价值及其在不同品种肉羊中的饲用价值[J].动物营养学报,2020,32(10):4931-4942.
LI W Y, WU X F, HUANG Q L, et al. Nutritive value of lotus receptacle as roughage for mutton sheep and goats and its feeding value in different mutton sheep and goat breeds[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(10): 4931-4942.(in Chinese)

[19] 万凡.不同饲养标准对杜寒杂交肉羊生产、屠宰性能

以及营养物质消化代谢的影响[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2017.
WAN F. Effect of different feeding standards on growth, slaughter performance, nutrient digestion and utilization efficiency of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred lambs[D]. Master's Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2017. (in Chinese)

[20] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.
FENG Y L. Ruminant nutrition[M]. Beijing: Science Press, 2004. (in Chinese)

[21] 李海英,雒秋江,上官京,等.添喂赖氨酸对小尾寒羊×无角陶赛特杂羔消化代谢和生长性能的影响[J].新疆农业大学学报,2011,34(3):181-187.
LI H Y, LUO Q J, SHANGGUAN J, et al. Effects of dietary lysine supplementation on digestion, metabolism and growth performance of small-tail *Han*×Polled Dorset lambs[J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2011, 34(3): 181-187. (in Chinese)

[22] 李雪玲,张乃锋,马涛,等.开食料中赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和色氨酸对断奶羔羊生长性能、氮利用率和血清指标的影响[J].畜牧兽医学报,2017,48(4):678-689.
LI X L, ZHANG N F, MA T, et al. Effects of lysine, methionine, threonine and tryptophan in starter on growth performance, nitrogen utilization and serum parameters in weaned lambs[J]. Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica, 2017, 48(4): 678-689. (in Chinese)

[23] 李海英,雒秋江,杨开伦,等.添喂赖氨酸对无角陶赛特×小尾寒羊杂交羔羊到达皱胃营养物质的影响[J].中国畜牧兽医,2012,39(11):79-85.
LI H Y, LUO Q J, YANG K L, et al. Effect of supplement of lysine on the nutrients arriving at the abomasum of Polled Dorset×small-tail *Han* lambs[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2012, 39(11): 79-85. (in Chinese)

[24] 刘文杰,雒秋江,钟涛,等.添加赖氨酸对小尾寒羊瘤胃消化代谢的影响[J].中国畜牧兽医,2015,42(10):2658-2668.
LIU W J, LUO Q J, ZHONG T, et al. Effect of lysine supplement on the digestion and metabolism of the rumen in small-tail *Han* sheep[J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2015, 42(10): 2658-2668. (in Chinese)

[25] 高昌鹏,周玉香,杨万宗,等.荞麦秸秆饲粮中添加过瘤胃赖氨酸和蛋氨酸对滩羊生长性能和消化代谢的影响[J].动物营养学报,2020,32(1):310-320.
GAO C P, ZHOU Y X, YANG W Z, et al. Effects of buckwheat straw diet supplemented with rumen protected lysine and methionine on growth performance and digestion and metabolism of tan sheep[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(1): 310-320. (in Chinese)

[26] 云强,刁其玉,屠焰,等.日粮中赖氨酸和蛋氨酸比对断奶犊牛生长性能和消化代谢的影响[J].中国农业科学,2011,44(1):133-142.
YUN Q, DIAO Q Y, TU Y, et al. Effects of dietary lysine to methionine ratio on growth performance, nutrient digestibility, and metabolism in weaned calves[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(1): 133-142. (in Chinese)

[27] 郭伟,王文义,杨东,等.低蛋白质饲粮补充过瘤胃氨基酸对育肥阶段杜寒杂交肉羊生长性能和屠宰性能的影响[J].动物营养学报,2020,32(3):1247-1255.
GUO W, WANG W Y, YANG D, et al. Effects of supplementation of rumen protected amino acids in low protein diets on growth performance and slaughter performance of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred mutton sheep during fattening stage[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(3): 1247-1255. (in Chinese)

[28] 李国栋.低蛋白日粮补饲过瘤胃蛋氨酸、亮氨酸、异亮氨酸对后备牛生长及消化性能的影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2020.
LI G D. Effect of rumen-protected methionine, leucine, isoleucine supplemental on growth and digestive performance of heifers in low-protein diets[D]. Master's Thesis. Tai, an: Shandong Agriculture University, 2020. (in Chinese)

[29] 蒋青荣,GIRMA D D,顾鲲涛,等.围产期低能饲粮添加过瘤胃赖氨酸对初乳质量、断奶前犊牛生长性能的影响[J].动物营养学报,2019,31(7):3164-3173.
JIANG Q R, GIRMA D D, GU K T, et al. Effects of diets with low energy level and rumen-protected lysine supplementation for perinatal period on colostrum quality, growth performance of pre-weaning calves[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(7): 3164-3173. (in Chinese)

[30] 张艳梅.复合化学处理稻草日粮中添加过瘤胃氨基酸对滩羊生产性能及肉品质的影响[D].硕士学位论文.银川:宁夏大学,2019.

ZHANG Y M. The effects of rumen protected amino acids added in complex chemical straw diet on production performance and meat quality of *Tan* sheep[D]. Master's Thesis. Yinchuan: Ningxia University, 2019. (in Chinese)

[31] 刘远,吴贤锋,陈鑫珠,等.大米草对福清山羊饲用价值评定[J].动物营养学报,2019,31(11):5302-5310.
LIU Y, WU X F, CHEN X Z, et al. Feeding values assessment of *Spartina* anglica in *Fuqing* goats[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(11): 5302-5310. (in Chinese)

[32] 占今舜,刘远,占咏平,等.饲粮蛋白质水平对广丰山羊肉品质、血清酶活性、瘤胃发酵和肠道发育的影响[J].动物营养学报,2021,33(3):1493-1502.
ZHAN J S, LIU Y, ZHAN Y P, et al. Effects of dietary protein level on meat quality, serum enzyme activity and intestinal develpment of *Guangfeng* goats[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(3): 1493-1502. (in Chinese)

[33] 翟晶.育成期梅花鹿过瘤胃蛋氨酸和赖氨酸适宜添加模式研究[D].硕士学位论文.长春:吉林农业大学,2017.
ZHAI J. Optimal supplemented amount and ratio of RPMet, RPLys in the ration of growing Sika deer[D]. Master's Thesis. Changchun: Jilin Agricultural University, 2017. (in Chinese)

[34] 张凯祥,邢德芳,高许雷,等.牛至油和过瘤胃赖氨酸组合添加对奶牛产奶性能和氮排泄的影响[J].动物营养学报,2019,31(3):1342-1351.
ZHANG K X, XING D F, GAO X L, et al. Effects of combined supplementation of oregano oil and rumen-protected lysine on lactation performance and nitrogen excretion of dairy cows[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(3): 1342-1351. (in Chinese)

[35] 丁大伟,滕乐帮,高许雷,等.牛至油和过瘤胃蛋氨酸不同组合对奶牛产奶性能和氮排泄的影响[J].草业学报,2020,29(3):70-77.
DING D W, TENG L B, GAO X L, et al. Effects of oregano oil and rumen-protected methionine on lactation performance and nitrogen excretion of dairy cows[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(3): 70-77. (in Chinese)

[36] 丁大伟,高许雷,滕乐帮,等.过瘤胃蛋氨酸与过瘤胃赖氨酸不同组合对奶牛瘤胃微生物蛋白产量、产奶性能和氮排泄的影响[J].动物营养学报,2019,31(6):2716-2726.
DING D W, GAO X L, TENG L B, et al. Effects of different combinations of rumen-protected methionine and rumen-protected lysine on rumen microbial protein production, lactation performance and nitrogen excretion of dairy cows[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(6): 2716-2726. (in Chinese)

[37] SENA J A B, VILLELA S D J, SANTOS R A, et al. Intake, digestibility, performance, and carcass traits of rams provided with dehydrated passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) peel, as a substitute of Tifton 85 (*Cynodon* spp.)[J]. Small Ruminant Research, 2015, 129: 18-24.

[38] DEVANT M, FERRET A, GASA J, et al. Effects of protein concentration and degradability on performance, ruminal fermentation, and nitrogen metabolism in rapidly growing heifers fed high-concentrate diets from 100 to 230 kg body weight[J]. Journal of Animal Science, 2000, 78(6): 1667-1676.

[39] LEE C, HRISTOV A N, CASSIDY T W, et al. Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolizable protein-deficient diet[J]. Journal of Dairy Science, 2012, 95(10): 6042-6056.

Effects of Dietary Rumen-Protected Lysine on Growth Performance, Nutrient Apparent Digestibilities and Nitrogen Metabolism of *Fuqing* Goats

LIU Yuan[1]　WU Xianfeng[1]　ZHAN Jinshun[2]　HUO Junhong[2]　HUANG Qinlou[1]　LI Wenyang[1*]

(1. *Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Fujian Academy of Agricultural Science, Fuzhou* 350013, *China*;
2. *Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Jiangxi Academy of Agricultural Science, Nanchang* 330200, *China*)

Abstract: The purpose of this experiment was to study the effects of dietary rumen-protected lysine (PRLys) on growth performance, nutrient apparent digestibilities and nitrogen metabolism of *Fuqing* goats. Thirty *Fuqing* wether goats with good physical condition and similar body weight [(12.06±1.65) kg] were selected and divided into 5 groups with 6 goats according to a randomized block design. Goats in the control group were fed a basal diet, and the others in trial groups Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ were fed basal diets supplemented 2.5, 5.0, 7.5 and 10.0 g/d PRLys per goat, respectively. The preparation period was 15 days, and the formal period was 60 days. The results showed as follows: 1) dietary PRLys had no significant effects on dry matter intake (DMI), gross energy intake, initial body weight, final body weight, total weight gain and average daily gain (ADG) of *Fuqing* goats ($P>0.05$), the DMI of trial group Ⅰ was the highest, and the total weight gain and ADG of trial group Ⅱ were the highest. 2) Dietary PRLys had no significant effects on nutrient apparent digestibilities of dry matter, organic matter, gross energy, neutral detergent fiber and acid detergent fiber of *Fuqing* goats ($P>0.05$). 3) The nitrogen intake of the control group was significantly lower than that of other trial groups ($P<0.05$), and the nitrogen intake of trial group Ⅳ was significantly higher than those of trial groups Ⅰ and Ⅱ ($P<0.05$). The fecal nitrogen of trial group Ⅳ was significantly higher than that of trial group Ⅱ ($P<0.05$). The nitrogen deposition of trial groups Ⅰ, Ⅱ and Ⅲ was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$). There were no significant differences in urine nitrogen, excreted nitrogen, nitrogen deposition rate and biological value of nitrogen among all groups ($P>0.05$). In conclusion, under the conditions of this experiment, dietary RPLys has no significant effect on the growth performance of *Fuqing* goats, and dietary 2.5 to 7.5 g/d RPLys significantly increase the deposition nitrogen of *Fuqing* goats. [***Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(1):432-441**]

Key words: RPLys; *Fuqing* goats; growth performance; digestion and metabolism

* Corresponding author, associate professor, E-mail: wy369@sina.com

(责任编辑　武海龙)