

不同精粗比全混合饲料对肥育羔羊消化道 pH 和消化酶活性的影响

杨子江¹, 年芳¹, 李发弟^{1,2*}, 马友记¹, 郭江鹏¹, 郝正里¹

(1. 甘肃农业大学动物科技学院, 兰州 730070; 2. 甘肃省饲料工程技术研究中心, 兰州 730070)

摘要: 为研究饲料精粗比对瘤胃液 VFA 浓度、胃肠道各段 pH 和消化酶活性的影响, 将 24 只 3~5 月龄的无角陶赛特(♂)×(小尾寒羊×滩羊)(♀)断奶公羔(平均体质量 25.83±6.14 kg)按同质原则分成 3 组(各 8 只); 正试期(40 d)分别饲喂精粗比为 65:35(A)、50:50(B)、35:65(C), 相应消化能和粗蛋白水平为 1.0、0.9、0.8 倍 NRC 推荐量的全混合饲料, 正试期末每组屠宰 6 只羔羊, 用于取样、测定。结果表明: (1) A 处理羔羊瘤胃液总 VFA (TVFA) 浓度显著高于 B、C 处理 ($P<0.05$)。 (2) 饲料精粗比显著影响羔羊瘤胃液、空肠后段黏膜(7.03、7.31、7.35)及内容物(7.19、7.30、7.58)与回肠内容物(7.16、7.33、7.57)的 pH ($P<0.05$)。 (3) 各处理羔羊瘤胃液乙酸和丙酸摩尔比介于 0.612~0.654 与 0.185~0.190 之间, 乙/丙酸比变动范围为 3.38~3.57。 (4) 小肠各部分各种消化酶活性随营养水平的变化不一致。 (5) 小肠内容物糜蛋白酶、黏膜与内容物脂肪酶的最高活性均出现在空肠中段, 内容物胰蛋白酶最高活性是在空肠后段, 空肠后段与十二指肠内容物的 α -淀粉酶活性均较高。结果表明, 饲喂高精粗比全混合饲料时瘤胃仍保持乙酸发酵类型; 饲料精粗比影响瘤胃、皱胃内容物与小肠后部黏膜及内容物的 pH; 十二指肠中具有较高的 α -淀粉酶活性。

关键词: 精粗比; 营养水平; 肥育羔羊; 消化道 pH; VFA; 消化酶

中图分类号: S826; S816.32

文献标识码: A

文章编号: 0366-6964(2009)09-1333-08

Influences of Total Mixed Diets with Different Concentrate-Roughage Ratio on pH and Activity of Digestive Enzymes in Alimentary Canal of Fattening Lambs

YANG Zi-jiang¹, NIAN Fang¹, LI Fa-di^{1,2*}, MA You-ji¹, GUO Jiang-peng¹, HAO Zheng-li¹

(1. College of Animal Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Feed Engineering Technology Research Center, Lanzhou 730070, China)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects of concentrate-roughage ratio in diets on concentration of VFA in rumen liquid, pH and digestive enzyme activities in different sections of alimentary canal. The twenty four crossbred weaned male lambs of Poll Dorset (♂)×(Tansheep×Small Tailed Han sheep) (♀) weighing (25.83±6.14) kg at the age of 3 - 5 months were divided similarly into three groups. They were fed on the diets with concentrate-roughage ratio of 65:35(A), 50:50(B) and 35:65(C) (digestible energy and crude protein were at 1.0, 0.9 and 0.8 times of NRC recommendation) respectively during the 40 days of regular experimental periods. Six lambs from each group were slaughtered for sampling at the end of regular feeding periods. The results showed that: (1) Concentration of total VFA (TVFA) in rumen liquid of lambs from group A was obviously higher than those from group B and C ($P<0.05$). (2) The pH of rumen liquid, homogenates of mucosa (7.03, 7.31 and 7.35) and contents (7.19, 7.30 and 7.58) in behind-jejunum, and of contents in ileum (7.16, 7.33, 7.57) were affected signifi-

收稿日期: 2008-11-11

资助: 甘肃省自然科学基金(3ZS061-A25-077); 甘肃省教育厅高等学校研究生导师科研项目(0702-07)

作者简介: 杨子江(1982-), 男, 甘肃平凉人, 硕士, 主要从事动物营养与饲料科学研究, E-mail: charles100200@yahoo.com.cn

* 通讯作者: 李发弟, E-mail: lifd@gsau.edu.cn

cantly by the concentrate-roughage ratio of diets ($P < 0.05$). (3) Molar proportions of acetic acid and propionic acid were ranged from 0.612 to 0.654 and from 0.185 to 0.190 respectively, the acetic / propionic ratios varied ranging from 3.38 to 3.57. (4) There were non-uniform pattern ranked of activities of various digestive enzyme along small intestine with concentrate-roughage ratio of the diets. (5) The highest activities of chymotrypsin in content and those of lipase in mucosa homogenate and content occurred in the middle-jejunum, activity of trypsinase in contents of behind-jejunum was the highest, and the highest activities of α -amylase were noted in content of duodenum and behind-jejunum. It was concluded that still acetic acid pattern of rumen fermentation was kept in lambs fed total mixed diet with higher concentrate-roughage ratio; the pH of contents in rumen and abomasums, of mucosa and contents in behind section of small intestine were affected by the concentrate-roughage ratio of the diets; there was also higher activity of α -amylase in duodenum.

Key words: concentrate-roughage ratio; nutritional level; fattening lamb; pH of alimentary canal; VFA; digestive enzymes

反刍动物饲料的精粗比、营养浓度和加工方法均影响瘤胃环境、微生物发酵效率和宿主生产性能。采用全混合饲料可保证家畜获得平衡营养,提高饲料转化效率与生产水平,并可在饲喂高精料饲料时使瘤胃环境相对稳定^[1-2]。瘤网胃微生物对食入饲料中营养物质有分解与再合成作用,对反刍动物的消化代谢起着重要的作用;微生物与饲料中未降解物质流入皱胃和小肠后,被各种消化酶进一步分解、吸收,因此,消化酶对反刍动物的消化代谢也具有重要作用。有关饲料结构对绵羊瘤胃发酵参数影响的研究报道甚多,但涉及皱胃、小肠 pH 及酶活性的报道相对较少;研究表明,饲料精粗比影响皱胃和小肠内环境及某些酶的活性^[3-4]。试验研究的消化道部位、测定指标各异,试验动物品种和年龄的不同以及饲料结构、营养水平与饲料类型、取样方法等的差异,均导致这些试验结果存在很大的差异。

本试验中,试验羊在采食后状态下屠宰、取样,测定了饲喂不同精粗比全混合饲料肥育羔羊的瘤胃挥发性脂肪酸(VFA)浓度,以及瘤胃、皱胃与小肠各段黏膜及内容物 pH 和多种消化酶活性,期望为羊的消化研究提供较系统的数据,为反刍动物的饲养提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点

饲养试验在兰州博亚饲料有限公司下属会宁博亚羊业有限公司羊场进行。试验羊现场屠宰、取样、并测定相关试验材料 pH;在甘肃农业大学动物营

养实验室测定其它指标。

1.2 试验设计与试验动物

采用单因子分组试验设计,设 A、B、C 3 个饲料处理,即精粗比分别为 65 : 35、50 : 50、35 : 65(消化能和粗蛋白质浓度相应为 1.0、0.9、0.8 倍 NRC 推荐量)。按照同质原则,将 24 只 3~5 月龄的无角陶赛特(♂)×(小尾寒羊×滩羊)(♀)三元杂交断奶公羔(平均体质量为 25.82±6.14 kg)分成 3 组,每组 8 只,分别接受 3 种饲料处理。过渡期 20 d,预试期 10 d,正试期 40 d。

1.3 饲料配方及配制

参照 NRC 育肥幼羊(体质量 30 kg,日增体质量 295 g)消化能(DE)和粗蛋白质(CP)推荐量,设计精粗比为 65 : 35、50 : 50、35 : 65(相应为 1.0、0.9、0.8 倍 NRC 推荐量)的饲料配方,微量元素及维生素按推荐值添加(表 1)。计算饲料配方时,饲料原料的干物质(DM)、CP、钙(Ca)、磷(P)均为实测值。将原料粉碎,精料和苜蓿颗粒通过 0.5 cm 网筛,玉米秸通过 1 cm 网筛;而后按各自配方配制成全混合饲料待用。

1.4 试羊的饲养管理

羊舍为半开放式,每周消毒 1 次。以接近当地规模化肥育羔羊精粗比的 B 组饲料作为过渡期和预试期饲料,正试期分别饲喂 A、B、C 处理饲料。按采食量投料,每天于 07:00、12:00、17:00、22:00 分 4 次等量饲喂;喂前加适量水将饲料拌湿,自由饮水。

表 1 饲料组成和营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient level of diets(air-dry basis)

原料 Ingredient/%	饲料 Diet			营养水平 Nutrient level	饲料 Diet		
	A	B	C		A	B	C
玉米 Corn	42.63	26.17	9.65	DE/(MJ·kg ⁻¹)	11.95	11.03	10.11
小麦麸 Wheat bran	1.01	4.55	8.12	CP/%	13.31	12.30	11.27
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	3.48	2.00	0.50	CF/%	11.25	14.89	18.56
棉籽粕 Cottonseed meal	6.97	6.50	5.52	Ca/%	0.58	0.57	0.53
菜籽粕 Rapeseed meal	6.47	5.50	5.02	P/%	0.29	0.28	0.27
苹果粕 Apple pomace	3.98	5.00	6.03	精粗比 Concentrate-Roughage ratio	65:35	50:50	35:65
苜蓿颗粒 Alfalfa pellet	9.85	11.85	13.92	钙磷比 Calcium-Phosphorus ratio	2.00	2.03	2.00
玉米秸 Corn straw	24.61	37.59	50.68	蛋能比/(g·MJ ⁻¹) Crude protein-digestible energy ratio	11.14	11.15	11.15
石灰石粉 Limestone meal	0.46	0.28	0.00				
预混料 ¹⁾ Premix	0.27	0.28	0.28				
食盐 Salt	0.27	0.28	0.28				
总计 Total	100.00	100.00	100.00				

¹⁾每千克饲料中添加微量元素(mg)和维生素(IU):硫 200;铁 25;锌 40;铜 8;锰 40;碘 0.3;硒 0.2;钴 0.1;维生素 A 940;维生素 E 20

¹⁾ Provided elements (mg) and vitamins (IU) per kg diet: S 200; Fe 25; Zn 40; Cu 8; Mn 40; I 0.3; Se 0.2; Co 0.1; VA 940; VE 20

1.5 样品采集、预处理与测定

1.5.1 样品采集 从每组选 6 只体质量接近平均体质量的试羊,于晨饲后 1 h 开始屠宰;剥皮后打开腹腔,在相应部位结扎,将瘤胃、皱胃、胰腺、十二指肠、空肠前、中、后段和回肠隔断。先摘取胰腺,放入布袋,然后分别取皱胃及各肠段内容物样,倾入 10 mL 离心管,用去离子水冲洗皱胃胃底腺区和各肠段,敷纱布吸附水渍后,用载玻片剥离黏膜,放入塑料管内。将以上样品置入液氮中速冻,再于 -70 °C 冷冻保存。取瘤胃内容物样,倾入小瓶中,于 4 °C 冷藏。

1.5.2 样品预处理 从冰箱中取出皱胃、小肠黏膜和胰腺样品,室温下解冻;在尚未完全解冻前取约 5 g,精确称质量后,按约 1:10(W/V)加入 4 °C 0.4 mol·L⁻¹氯化钾溶液;冰浴匀浆 45 s,4 °C 15 000 r·min⁻¹离心 10 min,将上清置 -70 °C 下保存,备测消化酶活性。皱胃和小肠内容物样预处理,除 4 °C 0.4 mol·L⁻¹氯化钾溶液的加入比例为 1:5(W/V)外,其余步骤同上。

用 4 层纱布过滤瘤胃内容物,滤出液以 5 400 r·min⁻¹离心 10 min;吸取 1 mL 上清液与 0.2 mL 含内标物 2-乙基丁酸(2EB)25%(W/V)的偏磷酸溶液,

置 1.5 mL 离心管内混匀,冰水浴 30 min;随后于 4 °C、10 000 r·min⁻¹离心 10 min,取上清液待测。

1.5.3 测定指标与方法 用 pH 计测定瘤胃液、胰腺和皱胃、小肠黏膜及内容物的 pH。按照《酶的测定方法》^[5]测定 α-淀粉酶、胰蛋白酶、糜蛋白酶活性。按照《生物化学实验原理和方法》^[6]测定脂肪酶活性。用气相色谱仪测定瘤胃液中挥发性脂肪酸(VFA)浓度。色谱柱为 19091N-213。测定条件为:进样口温度 220 °C,载气(N₂)流量 2.0 mL·min⁻¹,分流比 40:1,进样量 0.6 μL;程序升温:120 °C 保持 3 min,而后 10 °C·min⁻¹升高,升至 180 °C 保持 1 min;FID 温度为 250 °C;氢气流量为 40 mL·min⁻¹,空气 450 mL·min⁻¹,尾吹气 45 mL·min⁻¹。

1.6 数据处理与统计分析

用 SPSS 11.5 软件包中 One-Way ANOVA 过程进行方差分析,分别比较处理效应和小肠各段平均值;差异显著时,对方差同质的数据用 Duncan's 法做多重比较,对方差不同质数据采用 Tamhane's 法。以 $P \leq 0.05$ 为显著性标准,以 $0.05 < P \leq 0.10$ 表示具有趋势。数据以平均值±标准差表示。

2 结果

2.1 瘤胃液的 pH 和 VFA 浓度

由表 2 可见,与 A 处理相比,B、C 瘤胃液 pH 显

著较高($P < 0.05$),与它们的总挥发性脂肪酸(TVFA)浓度显著较低($P < 0.05$)相符;各处理间其它指标的差异均不显著($P > 0.05$)。

表 2 瘤胃液 pH 和 VFA 浓度

Table 2 pH and VFA concentration of rumen liquid

处理 Treatment	pH	TVFA/ (mmol · L ⁻¹)	各种酸的摩尔比 Molar ratio of acids				乙酸/丙酸 Acetic / Propionic
			乙酸	丙酸	丁酸	异戊酸+戊酸	
			Acetic	Propionic	Butyric	Isovalerate + valerate	
A	5.71 ± 0.11 ^b	242.31 ± 68.68 ^a	0.612 ± 0.058 ^a	0.190 ± 0.038 ^a	0.173 ± 0.034 ^a	0.026 ± 0.008 ^a	3.38 ± 0.98 ^a
B	6.03 ± 0.32 ^a	140.92 ± 25.96 ^b	0.647 ± 0.035 ^a	0.190 ± 0.047 ^a	0.142 ± 0.025 ^a	0.021 ± 0.004 ^a	3.57 ± 0.79 ^a
C	6.17 ± 0.19 ^a	155.48 ± 82.13 ^b	0.654 ± 0.026 ^a	0.185 ± 0.013 ^a	0.144 ± 0.019 ^a	0.017 ± 0.003 ^a	3.55 ± 0.36 ^a

同列数字肩注小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$),表 3、4 同

Means with different lowercase letter superscripts within the same column differ significantly ($P < 0.05$). The same as Table 3, Table 4

2.2 皱胃黏膜及内容物 pH 和胃蛋白酶活性

表 3 显示,处理间皱胃黏膜及内容物 pH 差异均不显著($P > 0.05$),但与瘤胃液 pH 变化趋势类似;处

理间皱胃黏膜与内容物胃蛋白酶活性均无显著差异($P > 0.05$),而 C 处理内容物胃蛋白酶活性呈现高于 A 的趋势($P = 0.097$)。

表 3 皱胃黏膜及内容物 pH 和胃蛋白酶活性

Table 3 pH and activity of pepsin in abomasum mucosa and contents

处理 Treatment	pH		胃蛋白酶活性/(U · mg ⁻¹ 蛋白质) Activity of pepsin in abomasum	
	黏膜 Mucosa	内容物 Content	黏膜 Mucosa	内容物 Content
	A	4.77 ± 0.29 ^a	3.17 ± 0.20 ^a	0.046 ± 0.019 ^a
B	5.04 ± 0.39 ^a	3.46 ± 0.62 ^a	0.046 ± 0.015 ^a	0.048 ± 0.023 ^a
C	5.14 ± 0.54 ^a	3.45 ± 0.49 ^a	0.042 ± 0.016 ^a	0.034 ± 0.010 ^a

2.3 胰腺 pH 和消化酶活性

从表 4 可看出,处理间胰腺 pH 和消化酶活性差

异均不显著($P > 0.05$)。

表 4 胰腺 pH 和消化酶活性

Table 4 pH and activity of digestive enzymes in pancreas

处理 Treatment	pH	胰蛋白酶 Trypsinase	糜蛋白酶 Chymotrypsin	α-淀粉酶 α-Amylase	U · mg ⁻¹ 蛋白质
					脂肪酶 Lipase
A	6.77 ± 0.09 ^a	0.333 ± 0.019 ^a	0.092 ± 0.007 ^a	0.568 ± 0.014 ^a	6.799 ± 2.674 ^a
B	6.79 ± 0.06 ^a	0.331 ± 0.040 ^a	0.096 ± 0.007 ^a	0.575 ± 0.033 ^a	6.586 ± 3.445 ^a
C	6.73 ± 0.14 ^a	0.353 ± 0.029 ^a	0.097 ± 0.013 ^a	0.569 ± 0.037 ^a	5.524 ± 0.733 ^a

2.4 小肠各段黏膜及内容物 pH 和消化酶活性

2.4.1 小肠黏膜及内容物 pH 表 5 显示,C 处理十二指肠黏膜 pH 显著高于 B($P < 0.05$),呈现高于 A

的趋势($P = 0.063$),B、C 空肠后段黏膜 pH 显著高于 A($P < 0.05$),C 处理回肠黏膜 pH 呈高于 A、B 的趋势($P = 0.066$)。空肠后段与回肠内容物的 pH 均随

表 5 小肠黏膜和内容物 pH

Table 5 pH of mucosa and contents in small intestine

处理 Treatment	黏膜 Mucosa					内容物 Content				
	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum			回肠 Ileum	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum			回肠 Ileum
		前段 Front	中段 Middle	后段 Behind			前段 Front	中段 Middle	后段 Behind	
A	6.53±0.09 ^{AB}	6.62±0.18 ^A	7.13±0.08 ^A	7.03±0.15 ^B	7.00±0.08 ^A	6.12±0.19 ^A	6.42±0.26 ^A	7.08±0.09 ^A	7.19±0.11 ^B	7.16±0.16 ^C
B	6.49±0.09 ^B	6.57±0.06 ^A	6.99±0.26 ^A	7.31±0.16 ^A	6.97±0.26 ^A	6.01±0.29 ^A	6.38±0.17 ^A	7.07±0.40 ^A	7.30±0.13 ^B	7.33±0.08 ^B
C	6.63±0.08 ^A	6.64±0.10 ^A	6.98±0.29 ^A	7.35±0.11 ^A	7.24±0.21 ^A	6.24±0.18 ^A	6.48±0.18 ^A	6.96±0.38 ^A	7.58±0.13 ^A	7.57±0.10 ^A
平均 Average	6.55±0.10 ^b	6.61±0.12 ^b	7.03±0.23 ^a	7.23±0.20 ^a	7.07±0.22 ^a	6.12±0.23 ^d	6.43±0.20 ^c	7.03±0.31 ^b	7.36±0.21 ^a	7.36±0.21 ^a

同列数字肩注大写字母不同表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 同行数字肩注小写字母不同表示部位间的差异显著 ($P < 0.05$)。表 6、表 7 同

Means with different capital letter superscripts within the same column differ significantly ($P < 0.05$). Means with different lowercase letter superscripts within the same row differ significantly ($P < 0.05$). The same as Table 6, Table 7

饲料精粗比下降而提高; C 处理空肠后段内容物 pH 显著高于 A、B ($P < 0.05$), 3 处理间回肠内容物 pH 的差异均显著 ($P < 0.05$)。

按平均值比较, 小肠各段黏膜和内容物的 pH 均自近端向远端逐渐升高; 空肠中段趋近中性; 空肠后段黏膜、内容物与回肠内容物呈微碱性, pH 显著高于其它肠段 ($P < 0.05$)。

2.4.2 小肠内容物胰蛋白酶和糜蛋白酶活性 从表 6 可见, A 处理十二指肠内容物胰蛋白酶与糜蛋白酶活性显著高于 B ($P < 0.05$), 其胰蛋白酶呈高于 C 的

趋势 ($P = 0.082$)。处理间其它肠段这两种酶活性的差异不显著 ($P > 0.05$); 但呈现内容物胰蛋白酶活性, 在空肠中段 A 处理较高 ($P = 0.099$), 在回肠段 B 处理较低 ($P = 0.063$) 的趋势。

空肠后段内容物胰蛋白酶活性显著高于其它肠段 ($P < 0.05$), 空肠中段和回肠则显著高于空肠前段 ($P < 0.05$), 十二指肠该酶活性呈高于空肠前段的趋势 ($P = 0.069$)。空肠中段内容物糜蛋白酶活性显著高于其它各肠段 ($P < 0.05$), 空肠后段亦显著高于空肠前段 ($P < 0.05$)。

表 6 小肠内容物胰蛋白酶和糜蛋白酶活性

Table 6 Activity of trypsinase and chymotrypsin in small intestinal contents

U · mg⁻¹ 蛋白质

处理 Treatment	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum			回肠 Ileum
		前段 Front	中段 Middle	后段 Behind	
胰蛋白酶活性 Activity of Trypsinase					
A	0.351±0.076 ^A	0.237±0.117 ^A	0.352±0.051 ^A	0.504±0.140 ^A	0.377±0.150 ^A
B	0.186±0.072 ^B	0.187±0.043 ^A	0.232±0.130 ^A	0.495±0.227 ^A	0.220±0.120 ^A
C	0.250±0.125 ^{AB}	0.135±0.054 ^A	0.266±0.080 ^A	0.503±0.102 ^A	0.407±0.113 ^A
平均 Average	0.262±0.113 ^{bc}	0.186±0.085 ^c	0.283±0.102 ^b	0.501±0.150 ^a	0.330±0.148 ^b
糜蛋白酶活性 Activity of chymotrypsin					
A	0.025±0.004 ^A	0.017±0.006 ^A	0.042±0.013 ^A	0.025±0.008 ^A	0.026±0.007 ^A
B	0.017±0.004 ^B	0.017±0.005 ^A	0.036±0.011 ^A	0.023±0.004 ^A	0.023±0.005 ^A
C	0.021±0.007 ^{AB}	0.022±0.005 ^A	0.039±0.007 ^A	0.027±0.008 ^A	0.020±0.005 ^A
平均 Average	0.021±0.006 ^{bc}	0.019±0.005 ^c	0.039±0.010 ^a	0.025±0.007 ^b	0.023±0.006 ^{bc}

2.4.3 小肠 α -淀粉酶和脂肪酶活性 表 7 显示, A、B 处理回肠内容物 α -淀粉酶活性显著低于 C ($P <$

0.05), A 处理十二指肠内容物脂肪酶活性显著高于 B、C ($P < 0.05$)。B 处理空肠中段内容物 ($P = 0.060$)

表 7 小肠 α -淀粉酶和脂肪酶活性Table 7 Activity of α -amylase and lipase in small intestineU · mg⁻¹ 蛋白质

处理 Treatment	黏膜 Mucosa					内容物 Content				
	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum			回肠 Ileum	十二指肠 Duodenum	空肠 Jejunum			回肠 Ileum
		前段 Front	中段 Middle	后段 Behind			前段 Front	中段 Middle	后段 Behind	
α -淀粉酶活性 Activity of α -amylase										
A	0.190± 0.054 ^A	0.135± 0.040 ^A	0.163± 0.048 ^A	0.115± 0.034 ^A	0.085± 0.023 ^A	0.797± 0.145 ^A	0.477± 0.196 ^A	0.726± 0.326 ^A	0.697± 0.342 ^A	0.350± 0.115 ^B
B	0.172± 0.020 ^A	0.176± 0.030 ^A	0.151± 0.036 ^A	0.104± 0.030 ^A	0.077± 0.016 ^A	0.697± 0.158 ^A	0.608± 0.106 ^A	0.562± 0.294 ^A	0.774± 0.597 ^A	0.369± 0.214 ^B
C	0.179± 0.032 ^A	0.170± 0.038 ^A	0.145± 0.033 ^A	0.107± 0.014 ^A	0.086± 0.019 ^A	0.665± 0.137 ^A	0.578± 0.167 ^A	0.690± 0.083 ^A	0.993± 0.137 ^A	0.640± 0.064 ^A
平均 Average	0.180± 0.037 ^a	0.160± 0.038 ^a	0.153± 0.038 ^a	0.108± 0.026 ^b	0.082± 0.019 ^c	0.719± 0.149 ^a	0.554± 0.162 ^b	0.659± 0.253 ^a	0.821± 0.402 ^a	0.442± 0.192 ^b
脂肪酶活性 Activity of lipase										
A	3.94± 0.87 ^A	3.96± 0.94 ^A	5.11± 1.40 ^A	2.69± 0.65 ^A	2.40± 0.58 ^A	10.88± 1.12 ^A	12.19± 2.66 ^A	14.91± 3.08 ^A	9.23± 2.95 ^A	6.54± 2.01 ^A
B	3.96± 1.00 ^A	4.08± 0.68 ^A	3.87± 0.80 ^A	2.49± 0.51 ^A	1.94± 0.18 ^A	8.26± 1.43 ^B	11.33± 3.03 ^A	11.03± 2.02 ^A	8.61± 1.66 ^A	6.50± 1.43 ^A
C	3.79± 0.89 ^A	4.10± 0.71 ^A	3.77± 1.24 ^A	1.99± 0.24 ^A	2.26± 0.33 ^A	7.95± 1.03 ^B	11.41± 2.72 ^A	13.06± 2.50 ^A	7.14± 3.23 ^A	4.57± 2.07 ^A
平均 Average	3.90± 0.87 ^a	4.05± 0.74 ^a	4.25± 1.27 ^a	2.39± 0.56 ^b	2.20± 0.43 ^b	9.03± 1.76 ^b	11.64± 2.67 ^a	13.00± 2.91 ^a	8.33± 2.70 ^b	5.95± 1.95 ^c

及 C 处理空肠后段黏膜脂肪酶活性较低 ($P=0.071$) 的趋势;十二指肠、空肠中、后段内容物 α -淀粉酶活性显著高于空肠前段与回肠 ($P<0.05$)。空肠前、中段内容物脂肪酶活性均显著高于其它肠段 ($P<0.05$)，十二指肠和空肠后段也显著高于回肠 ($P<0.05$)。

十二指肠与空肠前、中段黏膜 α -淀粉酶活性显著高于空肠后段与回肠 ($P<0.05$)，空肠后段也显著高于回肠 ($P<0.05$)；十二指肠、空肠前、中段黏膜脂肪酶活性显著高于空肠后段和回肠 ($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料精粗比对瘤胃代谢参数的影响

瘤胃液 pH 是反映瘤胃发酵状况的一项综合指标,主要取决于饲料结构、营养水平和摄食后时间^[7-9]。Hoover 等报道,纤维素和干物质消化的最适 pH 为 6.5^[10]。不同文献中给出的可抑制纤维分解菌繁殖的瘤胃内容物 pH 分别为低于 6.3^[11]、6.2^[12] 和 6.1^[4]。精料富含易消化的碳水化合物,在瘤胃内快速发酵产酸,且其颗粒较粗料小得多,使反刍次数、时间及进入瘤胃的唾液减少,导致 pH 快速下降^[4]。本试验 A 处理试羊瘤胃液 pH 显著低于 B、C 处理饲料

组,与周韶等以精料比例分别为 75.6%、55.6%、9.4% 的饲料饲喂肉牛的瘤胃液 pH 变化规律相符^[4]。

通常,随饲料中精料比例增大,瘤胃液的 TVFA 浓度增高,乙酸摩尔比下降,丙酸摩尔比升高。本试验结果基本符合此规律,但各处理乙酸摩尔比在 0.61~0.65 之间,丙酸摩尔比稳定在 0.19 左右,乙/丙酸比变动不大(3.38~3.57 之间),均呈现乙酸型发酵的特点。此结果进一步证明,饲喂全混合饲料能使瘤胃环境相对稳定,富纤维饲料使易消化碳水化合物稀释,可一定程度上消除高精料饲料快速发酵对纤维分解菌活性的抑制,发酵酸中乙酸遂占优势。将高精料全混合饲料压制成颗粒料时则不具此特性,郝正里等用此类饲料饲喂肥育羔羊,呈现典型的高丙酸型发酵,乙、丙酸的摩尔比分别为 0.42~0.43 和 0.37~0.43^[13]。

3.2 饲料精粗比对皱胃、小肠内容物 pH 的影响

本试验羔羊皱胃内容物的 pH 在 3.17~3.46 之间,处于正常范围(即 3~4)^[14];而黏膜 pH 较高(4.77~5.14)。瘤胃发酵状况影响皱胃胃液分泌,由前胃进入皱胃食糜中的 VFA 是促进皱胃分泌消化液的重

要因子^[15-16]。饲料营养水平较高时,瘤胃内 VFA 产量提高,由瓣胃下流的 VFA 也相应较多,可刺激皱胃的化学感受器,促进胃液分泌和释放更多的盐酸。本试验中,A 处理饲料羔羊皱胃黏膜和内容物的 pH 较低,而 B、C 处理比较接近;皱胃黏膜及内容物与十二指肠内容物 pH 随饲料精粗比的提高而呈下降的趋势,与瘤胃液相似。研究发现,提高肉牛饲料中精料比例使小肠内容物 pH 有所下降^[3],并对回肠末端食糜 pH 影响显著^[4]。可见,在十二指肠中,来自皱胃酸性较强的食糜尚未被充分中和;可能空肠前、中段的中和作用较强,其内容物 pH 在 3 个处理饲料间已基本一致;空肠后段黏膜及内容物与回肠内容物 pH 随饲料精粗比下降而升高,可能与处理间小肠内可发酵碳水化合物数量各异及小肠各段微生物发酵程度不同有关。十二指肠与空肠前、中段内容物流动性强,微生物发酵作用弱;随着已消化物质和水分被吸收,内容物向小肠末端下流的速率减小,内容物也较干,滞留时间相对较长,空肠后段与回肠可能有可见的微生物发酵;这种情况在饲喂高精料的动物最为明显^[15]。反刍动物小肠中糖与淀粉的消化是受限制的^[17],采食高淀粉饲料时,其较多部分在小肠后段与盲肠中被微生物发酵生成有机酸,内容物的 pH 即较低。

3.3 饲料精粗比对皱胃、胰腺和小肠消化酶活性的影响

本研究中,采食 3 个处理饲料羔羊的皱胃、胰腺内消化酶活性间均无显著差异。精粗比对小肠各段消化酶活性的影响缺乏一致性,可能是由于小肠部位不同及酶的种类不同造成的。A 处理十二指肠内容物胰蛋白酶与糜蛋白酶活性显著较高,B 反而呈低于 C 的趋势;在空肠后段,3 个处理 2 种酶活性接近;而 C 处理回肠内容物胰蛋白酶活性的绝对值最高。小肠各段黏膜与内容物 α -淀粉酶、脂肪酶活性也存在类似情况。从理论上讲,本试验 3 种饲料的粗蛋白含量均在绵羊需要量范围之内(13.31%、12.30% 和 11.27%),不会影响其基本生命活动(包括消化酶分泌在内)。刘月琴等对小尾寒羊的试验也表明,精粗比和营养浓度达一定水平后,在一定范围内提高饲料营养水平,不会提高小肠胰蛋白酶、糜蛋白酶和脂肪酶的活性^[18]。Siddons 也测出,完全哺乳的犊牛与 6 周龄后采食“精料—干草”饲料的犊牛,消化碳水化合物的酶的活性无显著差异^[19]。

3.4 饲料精粗比与小肠各段内容物的 pH 和消化酶活性

研究表明,消化酶活性最适 pH 为:牛胰脂肪酶为 6.5~7.5^[20],胰 α -淀粉酶为 6.8~7.0,胰蛋白酶和胰脂肪酶为 7.0~7.5^[18]。随着从皱胃流入小肠的酸性食糜逐渐被胰液、胆汁和肠液中的重碳酸盐中和,内容物 pH 从近端至远端逐渐升高;但因流入小肠的食糜酸度较大,而胰液碳酸氢盐的浓度较低,中和过程较慢,一般在空肠的后四分之三段才呈现碱性。本试验测出空肠中段内容物趋于中性,而其后续段与回肠内容物为微碱性,与上述报道和佟莉蓉测出的犊牛小肠各段内容物 pH 变化规律相符^[20]。

研究表明,由于进入小肠的酸性食糜被中和的速度较慢,延缓了肠酶活性的发挥,牛、羊胰蛋白酶活性一直到空肠近端才得以表现。Gorrill 等研究表明,犊牛和羔羊小肠的前三分之二段的蛋白水解酶活性高于后三分之一段^[21]。佟莉蓉测出犊牛胰蛋白酶活性以空肠前段内容物最高, α -淀粉酶最高活性出现在空肠中、后段内容物,空肠中段脂肪酶活性最高^[20]。张英杰等发现,胰蛋白酶、糜蛋白酶、脂肪酶、 α -淀粉酶活性均以空肠最高,十二指肠中 α -淀粉酶活性最低^[22]。本试验中,小肠内容物糜蛋白酶及黏膜与内容物脂肪酶最高活性均出现在空肠中段,内容物胰蛋白酶活性在空肠后段最高,与上述报道一致;本试验测出空肠后段和十二指肠内容物的 α -淀粉酶活性最高,与张英杰的报道相悖。本试验支持了已报道的有关十二指肠中进行着活跃的碳水化合物代谢与淀粉分解活性较强的研究结果。

4 结论

饲喂高精粗比全混合饲料时瘤胃仍保持乙酸发酵类型,用高精粗比羔羊肥育饲料进行全混合加工有望获得良好的育肥效果;饲料精粗比不仅影响瘤胃内容物的 pH,也影响了皱胃内容物与小肠后部黏膜及内容物的 pH;十二指肠中具有较高的 α -淀粉酶活性。

参考文献:

- [1] 史清河,王长言.反刍动物全混合日粮的研究进展(一)[J].饲料博览,1997,9(4):15-17.
- [2] 史清河,韩友文.全混合日粮对羔羊瘤胃代谢产物浓度变化的影响[J].动物营养学报,1999,11(3):51-57.
- [3] 张英杰,刘月琴,冯仰廉.日粮对肉牛小肠 pH 值及胰蛋白酶活性的影响[J].中国草食动物,2000,20(1):8-

- 9.
- [4] 周 韶,李树聪.不同精料水平对肉牛瘤胃和小肠 pH 值的影响[J]. 饲料工业, 2003,24(5):27-29.
- [5] 施特尔马赫.酶的测定方法[M].钱嘉渊译.北京:中国轻工业出版社,1992.
- [6] 李健武.生物化学实验原理和方法[M].北京:北京大学出版社,1994.
- [7] 嘎尔迪,齐智利,张润厚,等.玉米的不同加工处理对绵羊瘤胃内 pH 值、NH₃-N、VFA 浓度的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2002,9:18-20.
- [8] 韩正康,陈 杰.反刍动物瘤胃的消化和代谢[M].北京:科学出版社,1988.
- [9] MURPHY J J, KENNELLY J J. Effect of protein concentration and protein source on the degradability of dry matter and protein in situ[J]. *J Dairy Sci*, 1987, 70 (9): 1841-1849.
- [10] HOOVER W H, STOKES S R. Balancing carbohydrates and proteins for optimum rumen microbial yield[J]. *J Dairy Sci*, 1991,74(10):3630-3644.
- [11] 谭支良,卢德勋.提高粗饲料利用效率的系统组合营养技术及其组合效应的研究进展[J]. 饲料博览, 1999, 11(7):6-10.
- [12] ØRSKOV E R, RYLE M. 反刍动物营养学[M]. 周建民,张晓明,王加启译.北京:中国农业科学技术出版社, 1992.
- [13] 郝正里,郭天芬,孙玉国,等.采食不同组合全饲粮颗粒料羔羊的瘤胃液代谢参数[J]. 甘肃农业大学学报, 2002,37(2):145-152.
- [14] 陈 杰.家畜生理学[M]. 第 4 版. 北京:农业出版社, 2003.
- [15] [美]斯文森 M J. 家畜生理学[M]. 华北农业大学等译校.北京:科学出版社, 1978.
- [16] VAN SOEST P J. The nutritional ecology of the ruminant[M]. The second edition. Ithaca: Comstock Pub., 1994.
- [17] 冯仰廉. 反刍动物营养学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [18] 刘月琴,王宝山,张英杰,等.日粮类型对小尾寒羊小肠消化酶活性影响的研究[J]. 中国草食动物,2004,24 (专辑):131-134.
- [19] SIDDON R C. Carbohydrase activities in the bovine digestive tract[J]. *Biochem J*, 1968, 108(5): 839-844.
- [20] 佟莉蓉.0-6 月龄犊牛胰腺和小肠主要消化酶发育规律的研究[D]. 太谷:山西农业大学,2001.
- [21] GORRILL A D, SCHINGOETHE D J, THOMAS J W. Proteolytic activity and *in vitro* enzyme stability in small intestinal contents from ruminants and nonruminants at different ages[J]. *J Nutr*, 1968,96(3):342-348.
- [22] 张英杰,刘月琴,孙洪兴,等.羔羊小肠 pH 及主要消化酶发育规律的研究[J]. 畜牧兽医学报,2005,36(2): 149-152.