

饲料不同 NFC/NDF 对肉用绵羊瘤胃 pH、氨态氮和挥发性脂肪酸的影响

刘洁 刁其玉* 赵一广 姜成钢 李艳玲 屠焰

(中国农业科学院饲料研究所,农业部饲料生物技术重点实验室,北京 100081)

摘要: 本试验旨在研究饲料不同非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维(NFC/NDF)对肉用绵羊瘤胃 pH、氨态氮和挥发性脂肪酸的影响。选用(47.21 ± 1.01) kg 安装有瘤胃瘘管的杜泊羊(♂) × 小尾寒羊(♀)杂交 1 代肉用公羊 12 只,采用 12 × 4 不完全拉丁方设计,试验分 4 期进行,每期 16 d,分别饲喂 NFC/NDF 为 0.25、0.34、0.36、0.52、0.60、0.80、0.87、1.13、1.30、1.58、2.17 和 2.49 的 12 种饲料。结果表明:随着 NFC/NDF 的增加,试验羊瘤胃 pH 极显著线性降低($P < 0.01$),氨态氮浓度极显著线性增加($P < 0.01$),瘤胃总挥发性脂肪酸及丁酸比例呈显著三次曲线变化($P < 0.05$),总挥发性脂肪酸中的丙酸、戊酸和异戊酸比例极显著线性增加($P < 0.01$),乙酸比例和乙酸/丙酸极显著线性降低($P < 0.01$)。由此可见,饲料 NFC/NDF 对瘤胃 pH、氨态氮和挥发性脂肪酸具有显著影响。

关键词: 非纤维性碳水化合物;pH;氨态氮;挥发性脂肪酸;绵羊

中图分类号:S826

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2012)06-1069-09

作为一个相对稳定的厌氧发酵罐,瘤胃内的 pH、氨态氮($\text{NH}_3\text{-N}$)浓度和挥发性脂肪酸(VFA)比例等参数作为研究瘤胃发酵的主要内环境指标,能够反映瘤胃内部的环境状况及饲料在瘤胃内的发酵程度和模式。影响瘤胃发酵指标的因素有很多,但根本原因是饲料结构和营养水平,而调整饲料结构的直接手段是改变饲料的精粗比,在研究饲料对瘤胃代谢的影响时,研究者们往往采用饲料精粗比这一指标。精粗比虽然很直观,但由于精饲料和粗饲料只表示植物的籽实部分和茎叶部分,而没有反映其成分的组成,即中性洗涤纤维(NDF)和非 NDF,只能粗略反映饲料中易发酵碳水化合物的含量,因为精饲料和粗饲料都含有各自的可发酵碳水化合物和纤维物质,只是含量上存在差异。NDF 包括纤维素和半纤维素等,能全面体现饲料中纤维物质含量,非纤维性碳水化合物(NFC)包括有机酸、单糖、寡糖、淀粉、果胶、

果聚糖、半乳糖和 β -葡聚糖等在内,能够较为全面体现饲料中易发酵碳水化合物的含量,与精粗比相比,非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维(NFC/NDF)能够更真实地反映饲料中碳水化合物和纤维物质的比例^[1-3]。

前人研究表明,随着饲料精粗比的提高,瘤胃环境趋向于酸性,瘤胃发酵模式会发生改变^[4-7]。虽然关于精粗比对瘤胃发酵的影响研究很多,但由于精粗比只能粗略反映而不能具体表明饲料养分组成与瘤胃代谢的关系,因而也无法将其影响规律模型化。而且多数研究中由于所选饲料的数量有限,NFC/NDF 范围较窄,不能全面确切的反映饲料中碳水化合物和纤维含量对瘤胃发酵的情况。因此本试验设计 12 种不同 NFC/NDF 饲料(0.25 ~ 2.49),并在 NFC/NDF 范围很宽的前提下采用全混合日粮(TMR)技术,制成颗粒饲料,保证试验羊采食的饲料 NFC/NDF 符合试验设计要

收稿日期:2012-01-15

基金项目:农业部公益性行业(农业)项目(200903006)

作者简介:刘洁(1983—),女,河北定州人,博士研究生,从事饲料营养价值评定的研究。E-mail: liujie830821@126.com

* 通讯作者:刁其玉,研究员,博士生导师,E-mail: diaoqiuyu@mail.caas.edu.cn

求,从而探讨在不同饲粮 NFC/NDF 条件下,瘤胃 pH、NH₃-N 浓度和 VFA 比例及其动态变化,为应用适宜的饲粮 NFC/NDF 调控肉羊瘤胃发酵以及合理配制饲粮提供理论依据,这对建立我国的肉用绵羊饲料营养价值评定体系和饲料资源的合理利用都具有非常重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验动物

选用 12 只 10 月龄体重为 (47.21 ± 1.01) kg,安装永久性瘤胃瘘管的杜泊羊(♂) × 小尾寒羊(♀)杂交 1 代肉用公羊作为试验动物。

1.2 试验设计

采用 12 × 4 不完全拉丁方设计进行分组。试

验持续 64 d,分 4 期进行,每期 16 d,其中预试期 14 d,正试期 2 d。

1.3 试验饲粮与饲养管理

按照精粗比分别为 0:100、8:92、16:84、24:76、32:68、40:60、48:52、56:44、64:36、72:28、80:20 和 88:12 的比例进行饲粮配制,然后按照饲粮配方制成全混合颗粒饲料,经过实验室常规养分分析后,最后得到 NFC/NDF 分别为 0.25、0.34、0.36、0.52、0.60、0.80、0.87、1.13、1.30、1.58、2.17 和 2.49(1~12 组)的 12 种饲粮。各组饲粮组成及营养水平见表 1。正试期内 12 只试验羊经称重、驱虫后单笼饲喂试验设计的颗粒饲料,每天饲喂 1 次(08:00),限量饲喂 1 200 g,自由饮水。

表 1 试验饲粮组成及营养水平(干物质基础)												%
Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)												
项目 Items	组别 Groups											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
原料 Ingredients												
玉米 Corn		4.76	9.54	14.30	19.06	23.80	28.54	33.28	38.01	42.74	47.44	52.15
豆粕 Soybean meal		3.05	6.10	9.15	12.19	15.22	18.24	21.27	24.30	27.32	30.33	33.35
羊草 Chinese wildrye	97.81	89.80	82.12	74.26	66.41	58.54	50.68	42.86	35.05	27.25	19.44	11.66
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.45	1.65	1.50	1.40	1.25	1.15	1.00	0.80	0.70	0.50	0.35	0.20
石粉 Limestone				0.15	0.35	0.55	0.80	1.05	1.20	1.45	1.70	1.90
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
微量元素预混料 Mineral premix ¹⁾	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
维生素预混料 Vitamin premix ²⁾	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ³⁾												
干物质 DM	89.94	90.53	90.35	89.00	91.33	92.83	91.31	91.22	89.82	90.19	89.92	89.08
有机物 OM	88.06	87.36	88.54	88.84	89.55	89.02	89.97	89.65	90.47	90.85	91.47	93.07
总能 GE/(MJ/kg)	17.56	17.64	17.78	17.96	17.87	17.77	17.90	17.98	18.06	18.04	18.37	18.79
粗蛋白质 CP	7.29	8.98	10.36	10.46	13.08	12.89	14.92	16.97	18.83	20.46	21.61	23.64
粗脂肪 EE	2.06	1.92	2.05	2.13	2.18	1.99	2.51	2.42	2.45	2.74	2.76	2.76
中性洗涤纤维 NDF	62.90	57.25	55.86	50.09	46.36	41.15	38.80	33.00	30.09	26.18	21.19	19.12
非纤维性碳水化合物 NFC ⁴⁾	15.81	19.21	20.27	26.16	27.93	32.99	33.74	37.26	39.10	41.47	45.91	47.55
酸性洗涤纤维 ADF	38.11	35.63	35.48	30.71	28.05	23.34	23.36	19.72	18.15	14.41	11.98	9.99
非纤维性碳水化合物/ 中性洗涤纤维 NFC/NDF	0.25	0.34	0.36	0.52	0.60	0.80	0.87	1.13	1.30	1.58	2.17	2.49

¹⁾ 每千克微量元素预混料含 One kilogram of mineral premix contained the following: Cu 13.0 g, Fe 22.1 g, Mn 30.2 g, Zn 77.2 g, I 53.5 g, Se 19.2 g, Co 9.1 g。

²⁾ 每千克维生素预混料含 One kilogram of vitamin premix contained the following: VA 186 666 667 IU, VD₃ 720 000 000 IU, VE 170 000 IU。

³⁾ 营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.

⁴⁾ 非纤维性碳水化合物(%) = 有机物 - 中性洗涤纤维 - 粗蛋白质 - 粗脂肪。NFC(%) = OM - NDF - CP - EE.

1.4 样品采集

于每期试验正试期第 1 天 08:00、14:00、20:00 和第 2 天 02:00、05:00、11:00、17:00、23:00 采集瘤胃食糜约 100 mL/次。迅速测定瘤胃食糜 pH,然后将瘤胃食糜经 4 层纱布挤压向 15 mL 的离心管中,−20 ℃ 冷冻保存,以备测定 NH₃-N 和 VFA 浓度。

1.5 测定指标、方法及主要仪器

1.5.1 pH

瘤胃食糜 pH 用 pH 计(Sartorius PB − 10, Sartorius Co., 德国)测定。

1.5.2 NH₃-N 浓度

瘤胃食糜 NH₃-N 浓度用酚 − 次氯酸钠比色法^[8]测定。

1.5.3 VFA 浓度

取 1 mL 瘤胃液加 0.3 mL 250 g/L 的偏磷酸溶液,混匀,4 ℃ 放置 30 min 后,10 000 × g 离心 15 min,取上清液,用 0.22 μm 的水系滤膜过滤,

用气相色谱仪测定滤液中 VFA 的浓度。

1.6 统计分析

试验数据采用 Excel 2003 进行处理后,采用 SPSS 16.0 分析软件中的 GLM 模型对数据进行统计分析。NFC/NDF 对所有瘤胃发酵指标的影响均进行线性、二次曲线和三次曲线变化分析。

2 结果与分析

2.1 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 pH 的影响

由表 2 可以看出,饲料组成和采食时间均对瘤胃 pH 产生不同程度的影响。pH 的变化趋势随采食时间呈曲线变化,即从 08:00 采食后,各组 pH 开始降低,但由于瘤胃本身具有较强的缓冲能力,随着时间的推移,pH 又逐渐回升。随着饲料中 NFC/NDF 的增加,同一时间点的瘤胃 pH 呈降低趋势,采食后 6 (14:00)、12 (20:00)、15 (23:00) 和 18 h (02:00) 的瘤胃 pH 显著降低 ($P < 0.05$),其他时间点 12 组间差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 pH 的影响
Table 2 Effect of dietary NFC/NDF ratios on rumen pH

时间 Time	组别 Groups												SEM	P 值 P-value
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
02:00	6.29	6.41	6.43	6.04	6.04	6.44	6.07	5.86	6.07	5.90	6.21	5.59	0.05	<0.05
05:00	6.54	6.66	6.52	6.43	6.36	6.68	6.52	6.28	6.48	6.27	6.17	6.02	0.05	>0.05
08:00	6.94	6.74	6.79	6.81	6.40	6.71	6.51	6.34	6.57	6.41	6.31	6.05	0.07	>0.05
11:00	6.39	6.18	5.96	5.90	5.69	5.22	5.79	5.73	5.23	5.76	5.73	5.36	0.08	>0.05
14:00	6.45	6.50	6.13	5.91	5.90	5.06	5.65	5.74	5.44	5.56	5.52	5.44	0.07	<0.05
17:00	6.20	6.11	5.96	5.69	5.47	5.94	5.61	5.81	5.39	5.11	5.83	5.37	0.07	>0.05
20:00	6.49	6.54	6.16	6.08	6.00	5.99	5.90	5.68	5.54	5.67	5.68	5.37	0.06	<0.05
23:00	6.21	6.41	5.87	5.99	5.75	6.16	5.78	5.55	5.79	5.56	5.96	5.25	0.07	<0.05

2.2 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 NH₃-N 浓度的影响

由表 3 可以看出,NH₃-N 浓度的变化也是随采食时间呈曲线变化,采食前 NH₃-N 浓度达到最高,采食后开始下降,至下一次采食前,又有所回升。随着饲料中 NFC/NDF 的增加,各试验组肉羊瘤胃内的 8 个时间点的 NH₃-N 浓度均显著升高 ($P < 0.05$)。NH₃-N 浓度的变化明显受到饲料结构和饲喂时间的影响。

2.3 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 VFA 浓度的影响

本试验中的总挥发性脂肪酸 (TVFA) 是由实测的乙酸、丙酸、丁酸、戊酸和异戊酸的浓度加和而得,然后计算出 TVFA 中每种 VFA 的比例,以

比较不同 NFC/NDF 饲料对瘤胃 VFA 组成的影响。由表 4 可以看出,不同组中试验羊瘤胃的 TVFA 及其中的丙酸和丁酸比例随采食时间发生变化,其特征是呈先升高后降低的趋势,而 TVFA 中的乙酸和异戊酸比例变化的特点则随采食时间呈先下降后升高的趋势,戊酸比例则无明显变化规律。随着饲料中 NFC/NDF 的增加,TVFA 及其中的丙酸比例和丁酸比例均逐渐增加,TVFA 中的乙酸比例则相反,呈逐渐降低趋势。各组间 TVFA 含量变化除采食后 12 h (20:00) 存在显著差异 ($P < 0.05$) 外,其他时间点均无显著差异 ($P > 0.05$)。采食后 0 (08:00)、12 (20:00)、15

(23:00)、18(02:00)和 21 h(05:00),TVFA 中的乙酸比例随 NFC/NDF 的增加而显著降低($P < 0.05$),其他时间点各组间下降不明显($P > 0.05$)。随着 NFC/NDF 的增加,TVFA 中的丙酸比例在采食后 0(08:00)、15(23:00)和 18 h(02:00)显著升高($P < 0.05$),其他时间点增加不显著($P > 0.05$)。采食后 0(08:00)、6(14:00)、12(20:00)、18(02:00)和 21 h(05:00)的 TVFA

中的丁酸比例随 NFC/NDF 的增加存在显著差异($P < 0.05$),其他时间点差异不显著($P > 0.05$)。除采食后 6 h(14:00)不同组间的戊酸比例无显著差异($P > 0.05$)外,其他时间点均随着 NFC/NDF 的提高而显著增加($P < 0.05$)。试验羊采食后 6(14:00)和 21 h(05:00)的不同组间的异戊酸比例无显著差异($P > 0.05$),其他时间点差异显著($P < 0.05$)。

Table 3 Effects of dietary NFC/NDF ratios on rumen NH ₃ -N concentration														mg/dL
时间 Time	组别 Groups												SEM	P 值 P-value
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
02:00	2.63	3.35	4.88	3.86	8.27	11.73	11.86	14.46	22.54	30.85	28.50	36.30	2.22	<0.05
05:00	3.59	3.01	6.28	5.60	8.03	11.27	12.92	15.97	21.46	22.11	29.74	35.51	2.09	<0.05
08:00	3.50	5.51	8.68	9.78	13.09	11.01	20.60	24.99	21.98	29.70	29.64	30.62	1.94	<0.05
11:00	3.13	3.90	5.21	6.36	5.74	4.50	11.06	10.13	15.87	15.79	20.24	26.27	1.57	<0.05
14:00	2.12	2.58	4.88	6.59	6.46	4.58	6.05	8.06	12.37	18.06	23.51	19.18	1.44	<0.05
17:00	2.04	4.57	4.17	1.83	3.76	5.40	2.60	7.27	14.99	11.89	17.92	21.83	1.42	<0.05
20:00	2.02	7.79	5.18	2.36	2.55	5.53	6.47	9.33	14.73	20.80	21.83	26.92	1.69	<0.05
23:00	1.94	3.65	5.18	2.32	1.97	6.56	6.81	9.30	12.34	13.82	22.26	16.71	1.32	<0.05

表 4 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 VFA 浓度的影响														
Table 4 Effects of dietary NFC/NDF ratios on rumen VFA concentration														
时间 Time	组别 Groups												SEM	P 值 P-value
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)														
02:00	76.62	79.36	105.06	110.83	101.84	76.05	104.19	111.21	103.70	112.36	79.19	130.39	4.43	>0.05
05:00	73.95	66.17	89.28	83.37	76.64	53.19	73.77	103.88	75.21	93.47	75.58	81.70	3.69	>0.05
08:00	84.82	107.28	107.32	107.73	109.09	89.17	106.99	120.90	115.47	96.49	119.50	149.10	7.94	>0.05
11:00	74.55	93.63	110.48	108.90	111.57	148.93	110.60	111.29	138.06	141.33	99.88	142.17	6.14	>0.05
14:00	83.90	94.61	120.65	115.89	128.79	158.55	114.87	122.97	147.77	122.14	105.95	135.57	5.82	>0.05
17:00	97.86	93.54	113.29	124.87	91.45	110.18	107.29	97.59	134.50	123.37	88.09	127.95	5.32	>0.05
20:00	78.64	92.01	112.55	122.06	138.89	100.00	133.63	120.40	144.97	137.98	129.01	130.80	4.75	<0.05
23:00	72.88	71.24	98.54	119.23	98.22	100.68	105.40	84.12	107.38	112.68	93.84	96.39	3.86	>0.05
乙酸 Acetate/%														
02:00	74.51	74.04	72.04	76.02	70.90	73.17	68.59	70.93	62.29	67.48	61.12	44.28	1.47	<0.05
05:00	73.79	77.14	75.10	74.77	74.50	70.64	68.52	69.74	67.16	67.54	64.36	55.04	1.14	<0.05
08:00	75.40	71.91	70.51	70.97	71.06	70.34	66.64	70.42	65.51	65.23	65.20	54.52	1.11	<0.05
11:00	73.46	71.72	69.89	66.90	67.11	68.67	65.33	62.55	63.80	61.06	66.19	52.44	1.13	>0.05
14:00	72.45	71.35	66.03	70.49	64.11	65.05	64.13	64.26	60.27	60.47	61.31	54.71	1.13	>0.05
17:00	70.21	71.62	70.92	65.86	66.40	64.31	61.97	68.75	62.05	63.34	66.01	50.09	1.11	>0.05
20:00	74.35	73.84	68.20	71.51	65.79	63.85	64.58	65.66	61.64	62.27	58.67	46.30	1.38	<0.05
23:00	72.51	74.27	72.34	73.80	70.19	63.44	67.93	67.56	63.40	62.12	62.76	52.23	1.17	<0.05

续表 4

时间 Time	组别 Groups												SEM	P 值 P-value
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
丙酸 Propionate/%														
02:00	18.52	18.28	18.32	14.08	17.04	15.31	15.70	14.32	19.73	17.94	22.39	38.37	1.20	<0.05
05:00	17.73	13.49	15.14	13.75	13.61	18.96	15.41	15.13	15.14	18.11	18.77	28.88	0.93	>0.05
08:00	15.59	16.47	17.17	16.45	13.67	21.01	17.57	13.23	16.78	17.45	18.88	30.79	0.90	<0.05
11:00	17.65	19.70	17.72	21.02	20.43	20.07	19.23	22.49	20.98	24.63	18.24	30.15	0.83	>0.05
14:00	18.71	18.48	20.56	17.48	20.03	17.95	20.23	20.92	22.16	25.09	24.22	32.38	0.94	>0.05
17:00	19.73	18.69	17.85	21.56	19.03	20.53	22.62	16.92	25.12	24.95	18.88	33.72	0.88	>0.05
20:00	18.64	17.49	22.93	17.10	18.89	21.77	19.38	19.21	23.27	23.01	26.40	34.34	1.06	>0.05
23:00	20.12	16.57	18.63	15.82	18.00	22.95	17.40	16.96	22.59	25.60	21.47	32.33	0.95	<0.05
丁酸 Butyrate/%														
02:00	5.64	6.37	7.61	8.14	9.23	8.01	11.77	10.87	12.01	10.35	10.38	9.90	0.40	<0.05
05:00	5.90	6.82	7.34	9.26	8.78	7.05	11.58	11.42	11.99	9.86	9.50	8.68	0.39	<0.05
08:00	7.14	8.89	9.07	10.06	12.10	6.19	12.27	11.80	13.25	12.96	10.81	8.38	0.52	<0.05
11:00	7.57	7.62	10.45	10.84	10.60	9.22	13.01	12.06	12.45	11.17	11.19	10.51	0.51	>0.05
14:00	8.07	9.15	11.06	11.07	14.11	14.65	13.69	11.86	14.00	11.32	10.69	8.15	0.56	<0.05
17:00	8.61	8.57	9.78	11.40	13.02	11.81	13.23	10.63	10.39	9.18	9.90	10.26	0.54	>0.05
20:00	6.09	7.16	7.36	9.34	13.04	11.37	13.11	12.05	11.66	11.12	10.62	11.52	0.49	<0.05
23:00	6.35	7.41	7.73	8.80	9.93	10.07	11.72	12.09	9.93	8.78	11.28	9.26	0.39	>0.05
戊酸 Valerate/%														
02:00	0.55	0.57	0.75	0.69	1.08	1.82	1.55	1.34	2.89	2.03	2.44	4.46	0.20	<0.05
05:00	0.80	0.68	0.67	0.78	0.97	1.56	1.53	1.28	2.36	1.81	3.11	4.00	0.18	<0.05
08:00	0.70	0.86	1.13	0.97	1.15	1.24	1.27	1.55	1.87	1.64	1.83	3.34	0.12	<0.05
11:00	0.58	0.56	0.95	0.71	0.84	1.79	1.37	1.36	1.93	1.65	2.06	4.41	0.18	<0.05
14:00	0.59	0.56	1.15	0.67	0.91	2.33	0.73	1.47	2.34	1.75	1.85	3.22	0.15	>0.05
17:00	0.76	0.35	0.77	0.75	0.85	2.66	1.10	1.32	1.78	1.54	2.02	4.09	0.18	<0.05
20:00	0.42	0.63	0.96	0.79	1.17	2.23	1.32	1.42	2.18	1.75	1.98	5.33	0.22	<0.05
23:00	0.38	0.67	0.70	0.69	1.02	2.47	1.26	1.38	2.51	2.06	1.94	4.01	0.18	<0.05
异戊酸 Iso-valerate/%														
02:00	0.78	0.74	1.27	1.06	1.75	1.69	2.39	2.54	3.08	2.21	3.67	3.00	0.18	<0.05
05:00	1.78	1.88	1.74	1.45	2.15	1.79	2.97	2.44	3.36	2.69	4.26	3.40	0.19	>0.05
08:00	1.18	1.87	2.12	1.55	2.03	1.22	2.26	3.00	2.59	2.74	3.29	2.99	0.17	<0.05
11:00	0.75	0.39	0.99	0.53	1.02	0.25	1.06	1.55	0.85	1.50	2.31	2.49	0.14	<0.05
14:00	0.20	0.47	1.19	0.29	0.83	0.02	1.23	1.49	1.23	1.38	1.92	1.55	0.13	>0.05
17:00	0.71	0.77	0.68	0.43	0.71	0.70	1.08	2.39	0.67	1.00	3.20	1.84	0.17	<0.05
20:00	0.51	0.87	0.54	1.24	1.12	0.77	1.61	1.68	1.26	1.86	2.33	2.51	0.12	<0.05
23:00	0.65	1.09	0.61	0.90	0.87	1.07	1.70	2.02	1.58	1.45	2.55	2.18	0.13	<0.05

2.4 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 pH、NH₃-N 和 VFA 浓度的影响

将瘤胃 pH、NH₃-N、TVFA 浓度以及 TVFA 中的乙酸、丙酸、丁酸、戊酸、异戊酸比例和乙酸/丙酸的 8 个时间点的值取均值后,比较随着饲料中 NFC/NDF 的增加这 9 个指标的曲线变化。如表 5

所示,随着饲料 NFC/NDF 的增加,瘤胃 pH、乙酸比例及乙酸/丙酸比值呈极显著线性降低 ($P < 0.01$),瘤胃 NH₃-N 浓度和 TVFA 中的丙酸、戊酸和异戊酸比例则极显著线性增加 ($P < 0.01$),TVFA 及其中的丁酸比例呈显著的三次曲线变化 ($P < 0.05$)。

表 5 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 pH、NH₃-N 和 VFA 的影响
Table 5 Effects of dietary NFC/NDF ratios on rumen pH, NH₃-N and VFA

项目 Items	组别 Group												P 值 P-value			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	SEM	线性 Linear	二次 Quadratic	三次 Cubic
瘤胃 pH Rumen pH	6.45	6.40	6.14	6.07	5.86	5.91	5.87	5.81	5.67	5.68	5.86	5.47	0.05	0.008	0.010	<0.001
氨态氮 NH ₃ -N/(mg/dL)	2.62	4.29	5.56	4.84	6.23	7.57	9.80	12.44	17.04	20.38	24.21	26.67	1.54	<0.001	<0.001	<0.001
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mmol/L)	80.40	87.23	107.14	111.61	107.06	104.59	107.09	109.04	120.88	117.48	98.88	124.26	3.37	0.075	0.174	0.013
乙酸 Acetate/%	73.34	73.24	70.63	71.29	68.76	67.43	65.96	67.48	63.27	63.69	63.20	51.20	1.01	<0.001	<0.001	<0.001
丙酸 Propionate/%	18.34	17.40	18.54	17.16	17.59	19.82	18.44	17.40	20.72	22.10	21.16	32.62	0.79	<0.001	<0.001	<0.001
丁酸 Butyrate/%	6.92	7.75	8.80	9.86	11.35	9.80	12.55	11.60	11.96	10.59	10.55	9.58	0.36	0.620	0.111	0.012
戊酸 Valerate/%	0.60	0.61	0.89	0.76	1.00	2.01	1.27	1.39	2.23	1.78	2.16	4.10	0.16	<0.001	0.001	<0.001
异戊酸 Iso-valerate/%	0.82	1.01	1.14	0.93	1.31	0.94	1.79	2.14	1.83	1.85	2.94	2.49	0.12	<0.001	<0.001	0.001
乙酸/丙酸 A/P	3.97	4.06	3.76	4.11	3.87	3.38	3.51	3.81	2.88	2.98	3.11	1.53	0.13	<0.001	<0.001	<0.001

3 讨 论

3.1 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 pH 的影响

瘤胃 pH 是反映反刍动物瘤胃发酵状态最直观的一项指标,可以综合反映瘤胃微生物、代谢产物有机酸产生、吸收、排除及中和的状况,瘤胃酸度对维持瘤胃内环境相对恒定具有主导作用。影响瘤胃 pH 的因素很多,主要包括饲料结构、唾液分泌量、采食速度、瘤胃内 VFA 和其他有机酸生成、瘤胃的吸收和排出速度等,但其波动的根本原因则是饲料结构与营养水平^[9]。瘤胃 pH 的正常变化范围是 5.5~7.5,保持 pH 在一个正常的范围是保证瘤胃正常发酵的前提,而 pH 变动的规律性主要取决于饲料性质和采食后的时间。饲料中 NFC/NDF 越低,说明饲料中易发酵碳水化合物越少,粗纤维越多,动物采食、咀嚼和反刍的时间也就越长,产生的唾液就越多,而唾液(含有碳酸氢钠和磷酸盐)不断流入瘤胃,可以中和瘤胃的酸性,造成瘤胃趋向碱性的环境。与此相反,饲料高 NFC/NDF 则可以提供更多的易发酵碳水化合物(如玉米和豆粕),使得瘤胃产生大量的有机酸,又因饲料中 NDF 的减少,使动物采食和反刍消化的时间减少,所以唾液分泌量相对较少,从而造成了瘤胃 pH 下降,形成较酸性环境。

本试验中各组试验羊的瘤胃 pH 在采食后呈现先降低再增加的曲线变化,主要是由于饲料中的 NFC 在瘤胃内快速发酵产生有机酸致使 pH 下降,随着有机酸被瘤胃壁吸收或被瘤胃内的微生物用于合成微生物蛋白质(MCP)后进入真胃,使得有机酸减少。瘤胃的缓冲功能使 pH 又逐渐上升恢复到正常状态。本研究表明,随着饲料中 NFC/NDF 的增加,瘤胃 pH 降低,这与韩昊奇等^[1]、王吉峰等^[10]得到的结果一致。而 Yang 等^[11]研究 2 种不同精粗比(35:65 和 55:45)饲料对奶牛瘤胃 pH 影响,得出饲料精粗比对瘤胃 pH 没有显著影响。甘伯中等^[12]用精粗比分别为 78:22、53:47、37:63 的全饲料颗粒料饲喂绵羊,发现所有的处理各时段的 pH 差异均不显著。孙德成等^[7]饲喂不同精粗比 TMR 的 TMR1(20:80)、TMR2(30:70)、TMR3(40:60)、TMR4(50:50)、TMR5(60:40)和 TMR6(70:30),探讨不同精粗比 TMR 对奶牛瘤胃指标的影响,结果表明 pH 虽有降低趋势,但差异不显著。本试验中各组瘤胃 pH

虽显著下降,酸度的变化范围尚处于正常范围内。造成 pH 变化差异的原因可能是和饲料组成不同或者试验设计不同有关,如果饲料中含有较多苜蓿或添加了缓冲剂,会使瘤胃的缓冲能力增大,而本试验采用羊草作为粗饲料,而且 NFC/NDF 设计的范围很宽,从而使试验组间差异和 pH 的变化趋势更为明显,瘤胃 pH 随饲料中 NFC/NDF 的增加而呈显著线性降低。不过这也说明只要合理配制,饲料中含有大量 NFC 引起的 pH 降低的问题是可以避免或缓解的。

3.2 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度的影响

瘤胃 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度是瘤胃内的一个重要参数。瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 既是饲料蛋白质、内源性蛋白质和非蛋白氮分解的终产物,同时也是在有能量和碳架的情况下,瘤胃微生物合成菌体蛋白质的主要氮源,一定程度上可以反映出瘤胃微生物分解含氮物质产生 $\text{NH}_3\text{-N}$ 及对其摄取利用的情况。如果 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度过高,则说明瘤胃微生物降解氮源释放氨气(NH_3)的速率超过了微生物利用 NH_3 合成自身蛋白质的速率,这会增加瘤胃氮循环中氮素的损失,而 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度过低会限制 MCP 合成和分解纤维素的效率^[13]。

很多研究表明瘤胃 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在采食后呈先上升后下降的趋势^[14-15],而本试验中各组试验羊瘤胃液 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度虽呈曲线变化,但总体规律是先降后升趋势,采食后逐渐下降,至下一次采食前,又有所回升。郝正里等^[16]用高精料全饲料颗粒料饲喂陶塞特(♂)与藏羊(♀)的杂交一代羔羊,也发现采食后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度下降。造成采食后 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度变化差异的原因可能是与本试验选用全混合颗粒饲料有关,由于颗粒料采食快,瘤胃内容物迅速被稀释,而且瘤胃微生物能够很快从易消化碳水化合物发酵中获得充足的能量,有效地利用氨合成蛋白质,所以采食后会迅速下降,而随着时间的推移,速效能源大部分被分解,能量供应下降,剩余 NH_3 积累,使得瘤胃液 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度逐渐上升。

饲料中 NFC/NDF 的增加为微生物生长提供了更多的瘤胃可利用能源,从而增强了微生物的活性和对蛋白质的降解能力,另外由于瘤胃 pH 下降,在酸性环境中释放出的氨转变成铵根(NH_4^+)被固定,与氨相比, NH_4^+ 不易被瘤胃壁直接吸收,因此瘤胃 pH 越低,被固定的氨越多,从而使

$\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度显著增加。本研究表明,瘤胃中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度随着饲料中 NFC/NDF 的提高而增加,这与陈小连等^[17]和陈宁等^[4]研究结果一致。

3.3 饲料 NFC/NDF 对瘤胃 VFA 浓度的影响

反刍动物通过瘤胃微生物对饲料的发酵消化而获得主要的能量来源,对碳水化合物吸收的形式不是葡萄糖而是一些短链的 VFA,其包括乙酸、丙酸、丁酸、异丁酸、戊酸、异戊酸、正丁酸等,由于 VFA 主要来源于微生物对碳水化合物的发酵,所以瘤胃发酵类型及 VFA 产量主要与饲料的类型密切相关^[5]。

本研究结果表明,随采食时间的推移,瘤胃液中 TVFA 浓度呈现曲线变化,即采食后其浓度在一定范围内上升,随后下降并趋于平稳。采食后瘤胃内的快速发酵会产生大量 VFA,VFA 浓度的增加表明微生物发酵能力增强。随着瘤胃微生物的利用和瘤胃壁的吸收,其浓度又有所下降。

一般来说,粗饲料中的纤维素、半纤维素和木质素的含量较高,在瘤胃中发酵产生的乙酸比例较高。精饲料中淀粉和糖的含量较高,易发酵碳水化合物的增加使得瘤胃内发酵率也较高,产生的 TVFA 也较多,会使瘤胃内的 VFA 发酵以丙酸为主,乙酸/丙酸会降低^[10,18-19]。本研究得出,随着饲料中 NFC/NDF 的提高,瘤胃中乙酸比例及乙酸/丙酸降低,瘤胃中 TVFA 及丙酸和丁酸比例增加,这与 Rotger 等^[6]、胡红莲等^[20]、王吉峰等^[10]研究结果一致。乙酸、丙酸、丁酸约占瘤胃发酵 VFA 总产量的 95%,所以大多数研究都是只分析这 3 种 VFA 的浓度或组成比例来反映绵羊瘤胃发酵,而对其他 VFA 研究较少。本试验通过对瘤胃中戊酸和异戊酸的测定,表明瘤胃中戊酸和异戊酸比例也是随着 NFC/NDF 的提高而显著增加。

VFA 浓度的测定需要气相色谱仪,在实践中难以测定,所以通过分析 VFA 随 NFC/NDF 的变化趋势,可以将饲料 NFC/NDF 对 VFA 的影响模型化,从而为实践中 VFA 浓度的预测提供一种简便实用的方法。

4 结 论

① 绵羊瘤胃 pH 是 5.47 ~ 6.45,随着饲料中 NFC/NDF 的增加而呈线性降低。

② 绵羊瘤胃 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度为 2.62 ~ 26.67 mg/dL,随饲料中 NFC/NDF 的增加而呈线性

增加。

③ 绵羊瘤胃 TVFA 浓度为 80.40 ~ 124.26 mmol/L,TVFA 中乙酸、丙酸、丁酸、戊酸和异戊酸比例的分别是 51.20% ~ 73.34%、17.16% ~ 32.62%、6.92% ~ 12.55%、0.60% ~ 4.10%、0.82% ~ 2.94%,乙酸/丙酸为 1.53 ~ 4.11。随着饲料中 NFC/NDF 的增加,TVFA 中的乙酸比例和乙酸/丙酸呈线性降低,丙酸、戊酸和异戊酸比例呈线性增加,TVFA 及其中的丁酸比例呈三次曲线变化。

参考文献:

- [1] 韩昊奇,刘大程,高民,等.不同 NFC/NDF 比对奶山羊瘤胃微生物及瘤胃 pH 变化的影响[J].动物营养学报,2011,23(4):597-603.
- [2] HALL M B. Challenges with nonfiber carbohydrate methods [J]. Journal of Animal Science, 2003, 81(12):3226-3232.
- [3] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.
- [4] 陈宁.日粮精粗比对断奶初期犊牛瘤胃内环境及粗饲料降解的影响[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2006.
- [5] 汪水平,王文娟,王加启,等.日粮精粗比对奶牛瘤胃发酵及泌乳性能的影响[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(6):45-50.
- [6] ROTGER A, FERRET A, CALSAMIGLIA S, et al. Changes in ruminal fermentation and protein degradation in growing Holstein heifers from 80 to 250 kg fed high-concentrate diets with different forage-to-concentrate ratios [J]. Journal of Animal Science, 2005, 83(7):1616-1624.
- [7] 孙德成,赵智力,魏曼琳,等.不同精粗料比全混合日粮对奶牛瘤胃指标的影响[J].饲料研究,2008(10):47-50.
- [8] 郭旭东.芦丁对奶牛泌乳性能、瘤胃消化代谢和对大鼠乳腺发育的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2011.
- [9] 赵国琦,贾亚红,陈小莲,等.不同 NDF/NFE 比的日粮对山羊瘤胃发酵参数影响的研究[J].中国畜牧杂志.2006,42(13):29-33.
- [10] 王吉峰,王加启,李树聪,等.不同日粮对奶牛瘤胃发酵模式及泌乳性能的影响[J].畜牧兽医学报,2005,36(6):569-573.
- [11] YANG W Z, BEAUCHEMIN K A, RODE L M. Effects of grain processing, forage to concentrate

- ratio, and forage particle size on rumen pH and digestion by dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2001, 84(10):2203–2216.
- [12] 甘伯中,程胜利,郝正里,等. 全饲料颗粒料对羔羊瘤胃代谢产物浓度变化的影响[J]. *中国草食动物*, 2003, 23(4):10–12.
- [13] HRISTOV A N, ROPP J K, HUNT C W. Effect of barley and its amylopectin content on ruminal fermentation and bacterial utilization of ammonia-N *in vitro* [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2002, 99(1/2/3/4):25–36.
- [14] 张倩,夏建民,李胜利,等. 不同比例压块秸秆与羊草组成粗饲料对奶羊瘤胃发酵和生产性能的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(2):474–480.
- [15] 李树聪. 不同精粗比日粮泌乳奶牛氮素代谢及限制性氨基酸的研究[D]. 博士学位论文. 北京:中国农业科学院, 2005.
- [16] 郝正里,郭天芬,孙玉国,等. 采食不同组合全饲料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.
- [17] 陈小连,贾亚红,孙龙生,等. 不同中性洗涤纤维与非纤维性碳水化合物比例日粮对山羊瘤胃和血液氮素利用的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2007, 43(3):36–39.
- [18] SUTTON J D, DHANOA M S, MORANT S V, et al. Rates of production of acetate, propionate, and butyrate in the rumen of lactating dairy cows given normal and low-roughage diets [J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(11):3620–3633.
- [19] SIEVERT S J, SHAVER R D. Effect of nonfiber carbohydrate level and aspergillus oryzae fermentation extract on intake, digestion, and milk production in lactating dairy cows [J]. *Journal Animal Science*, 1993, 71(4):1032–1040.
- [20] 胡红莲,卢德勋,刘大程,等. 日粮不同 NFC/NDF 比对奶山羊瘤胃 pH、挥发性脂肪酸及乳酸含量的影响[J]. *动物营养学报*, 2010, 22(3):595–601.

Effects of Dietary NFC/NDF Ratios on Rumen pH, $\text{NH}_3\text{-N}$ and VFA of Meat Sheep

LIU Jie DIAO Qiyu* ZHAO Yiguang JIANG Chenggang LI Yanling TU Yan

(Key Laboratory of Feed Biotechnology of Ministry of Agriculture, Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of dietary non-fiber carbohydrate to neutral detergent fiber (NFC/NDF) ratios on rumen pH, ammonia-N ($\text{NH}_3\text{-N}$) and volatile fatty acid (VFA) of meat sheep. Twelve rumen-cannulated crossbred (Dorper ♂ × Thin-tailed Han ♀) rams with body weight of (47.21 ± 1.01) kg were divided into 12 groups (4 trial periods) and each period lasted for 16 days according to a 12×4 uncompleted Latin square experimental design. The rams were fed rations with different NFC/NDF ratios, which were 0.25, 0.34, 0.36, 0.52, 0.60, 0.80, 0.87, 1.13, 1.30, 1.58, 2.17 and 2.49, respectively. The results showed that with the increasing of NFC/NDF ratios, rumen pH was significantly linear decreased ($P < 0.01$), rumen $\text{NH}_3\text{-N}$ was significantly linear increased ($P < 0.01$), total volatile fatty acid (TVFA) and butyrate percent were changed obviously with cubic curve ($P < 0.05$), percent of propionate, valerate and isovalerate in rumen were significantly linear increased ($P < 0.01$), while acetate percent and acetate/propionate ratio were significantly linear decreased ($P < 0.01$). These results indicate that dietary NFC/NDF ratios have significant effects on rumen pH, $\text{NH}_3\text{-N}$ and VFA. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(6):1069-1077]

Key words: NFC; pH; $\text{NH}_3\text{-N}$; VFA; sheep