

# 饲料非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对绵羊消化、瘤胃发酵参数及纤维素酶活性的影响

普宣宣<sup>1</sup> 郭雪峰<sup>1,2\*</sup> 蒋辰宇<sup>1</sup> 刘俊峰<sup>1,2</sup> 张秀萍<sup>1,2</sup> 张苏江<sup>1,2</sup>

(1.塔里木大学动物科学学院,阿拉尔 843300;2.新疆生产建设兵团塔里木畜牧科技重点实验室,阿拉尔 843300)

**摘要:** 本试验旨在研究饲料非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维(NFC/NDF)对绵羊营养物质表观消化率和瘤胃发酵的影响。试验配制4种不同NFC/NDF的饲料,比例分别为0.54(I组)、0.96(II组)、1.37(III组)、1.90(IV组),通过采集瘤胃内容物,测定瘤胃发酵指标的动态变化及纤维素酶活性,同时通过消化试验测定营养物质表观消化率。结果表明:1) III组和IV组的干物质(DM)和有机物(OM)表观消化率均显著高于I组和II组( $P < 0.05$ );NDF和酸性洗涤纤维(ADF)表观消化率均为: III组>IV组>II组>I组,但组间差异不显著( $P > 0.05$ );2) IV组瘤胃平均pH显著低于其他3组( $P < 0.05$ );氨态氮( $\text{NH}_3\text{-N}$ )平均含量为: III组>IV组>II组>I组,但组间差异不显著( $P > 0.05$ );3) 羧甲基纤维素钠酶(CMC)平均活性为: I组>II组>III组>IV组,葡萄糖苷酶和木聚糖酶平均活性为: II组>I组>III组>IV组,但组间差异均不显著( $P > 0.05$ )。根据营养物质表观消化率、瘤胃发酵参数综合评定,适宜的饲料NFC/NDF为1.37;饲料中NFC/NDF在0.54~1.90时,对瘤胃纤维素酶平均活性无显著影响。

**关键词:** NFC/NDF;表观消化率;瘤胃发酵参数;纤维素酶

**中图分类号:** S826

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2019)10-4859-09

瘤胃发酵对反刍动物生长和生产具有重要意义,影响反刍动物瘤胃发酵因素有很多,如品种、年龄、饲料、饲养管理等,其中饲料调控对同种动物瘤胃发酵具有重要影响。宋善丹等<sup>[1]</sup>指出我国现阶段饲料精粗比使用不当是制约肉羊集约化、规模化生产和发展的重要因素。因此,通过研究饲料调控对瘤胃发酵的影响,可降低生产成本,提高经济效益。饲料调控包括改变饲料种类<sup>[2]</sup>、提高饲料能量<sup>[3]</sup>、改变饲料精粗比构成及粗料加工方式<sup>[4]</sup>等,其中改变饲料结构最有效。有研究表明,饲料精粗比对瘤胃消化<sup>[5]</sup>、内环境<sup>[6-7]</sup>、纤维素酶活性等具有一定的影响。秦正君等<sup>[8]</sup>研究发现,饲喂奶牛不同精粗比饲料时,提高精料水平可有效改善瘤胃发酵,提高产乳量。但随着精料水

平的提高,饲料中纤维素降解率会降低。赵芸君等<sup>[9]</sup>研究体外发酵不同精粗比饲料时发现,饲料精粗比可极显著降低发酵液pH,改变瘤胃发酵模式。纤维素是世界上最大的可再生资源<sup>[10]</sup>,但难以被降解,反刍动物利用瘤胃微生物代谢产生纤维素酶,降解纤维素产生的葡萄糖,为机体提供能量<sup>[11]</sup>,纤维素降解在维持瘤胃正常生理功能上起着重要作用,因此,在提高瘤胃发酵效率时,需保证纤维素酶活性。霍鲜鲜等<sup>[12]</sup>研究结果表明,不同碳水化合物比例饲料显著或极显著影响纤维素酶活性,精料超过一定比例时纤维素酶活性降低。因此,本试验设计4种不同非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维(NFC/NDF)饲料,测定营养物质表观消化率和瘤胃发酵参数(包括纤维素酶活性),筛选出适宜的饲料NFC/

收稿日期:2019-04-11

基金项目:国家自然科学基金项目(31760680)

作者简介:普宣宣(1997—),女,河南周口人,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 2924197349@qq.com

\* 通信作者:郭雪峰,副教授,硕士生导师,E-mail: gxfdky@126.com

NDF,为科学配制饲料提供参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验饲料

试验依据《肉羊饲养标准》(NY/T 816—2004)<sup>[13]</sup>设计饲料,其组成及营养水平见表1,原

料购买于阿拉尔团场。

### 1.2 试验动物与饲养管理

试验选取12只装有瘤胃瘘管的卡拉库尔羊,体重35 kg左右(年龄相近、体况良好,购买于新疆阿拉尔市十团农户家中,购买前进行布鲁氏菌病检测),试验前驱虫,饲喂于塔里木大学动科试验站。

表1 饲料组成及营养水平(风干基础)

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

%

| 项目<br>Items                        | 组别 Groups |        |        |        |
|------------------------------------|-----------|--------|--------|--------|
|                                    | I         | II     | III    | IV     |
| 原料 Ingredients                     |           |        |        |        |
| 玉米 Corn                            | 20.00     | 35.40  | 45.00  | 54.00  |
| 豆粕 Soybean meal                    | 2.00      | 2.00   | 2.00   | 2.00   |
| 麦麸 Wheat bran                      | 12.70     | 10.30  | 10.70  | 4.70   |
| 食盐 NaCl                            | 0.80      | 0.80   | 0.80   | 0.80   |
| 碳酸钙 CaCO <sub>3</sub>              | 0.50      | 0.50   | 0.50   | 0.50   |
| 预混料 Premix <sup>1)</sup>           | 1.00      | 1.00   | 1.00   | 1.00   |
| 棉籽壳 Cottonseed hulls               | 30.00     | 20.00  | 15.00  | 13.00  |
| 苜蓿颗粒 Alfalfa grain                 | 33.00     | 30.00  | 25.00  | 24.00  |
| 合计 Total                           | 100.00    | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup> |           |        |        |        |
| 干物质 DM                             | 95.54     | 95.74  | 96.30  | 95.55  |
| 总能 GE/(MJ/kg)                      | 15.88     | 16.44  | 16.88  | 16.98  |
| 粗蛋白质 CP                            | 14.76     | 14.96  | 14.10  | 13.43  |
| 粗脂肪 EE                             | 2.08      | 2.11   | 2.33   | 2.58   |
| 粗灰分 Ash                            | 8.85      | 7.62   | 6.86   | 6.35   |
| 钙 Ca                               | 0.74      | 0.73   | 0.72   | 0.75   |
| 磷 P                                | 0.26      | 0.25   | 0.24   | 0.22   |
| 非纤维性碳水化合物 NFC <sup>3)</sup>        | 26.11     | 36.98  | 44.41  | 50.84  |
| 中性洗涤纤维 NDF                         | 48.20     | 38.33  | 32.30  | 26.80  |
| 酸性洗涤纤维 ADF                         | 31.75     | 28.73  | 23.80  | 21.41  |
| 非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维<br>NFC/NDF        | 0.54      | 0.96   | 1.37   | 1.90   |

<sup>1)</sup>预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 1 800 IU, VD<sub>3</sub> 600 IU, VE 30 mg, Fe 65 mg, Se 0.15 mg, I 0.6 mg, Cu 10 mg, Mn 28 mg, Zn 45 mg, Cu 12 mg。

<sup>2)</sup>营养水平均为计算值。Nutrient levels were all calculated values.

<sup>3)</sup>非纤维性碳水化合物(%)=(1-中性洗涤纤维-粗蛋白质-粗脂肪-粗灰分)×100。NFC(%)=(1-NDF-CP-EE-Ash)×100。

### 1.3 试验设计

试验采用单因素试验设计,将12只羊按体重分为4组,每组3只羊,每日09:00和20:00分2次定量饲喂(限饲),自由饮水。试验预试期15 d,预试期间观察采食量及排粪规律,正式试验期11 d,其中消化试验8 d,采用全收粪法,每天09:00进行粪样的收集,将粪样混合均匀后取未污染样的10%于-20℃保存,将8 d的粪样混合均匀,

65℃烘干24 h,回潮24 h后称重,测得初水分含量,随后经粉碎过40目网筛,以备后续分析。试验正式期的第9、10、11天,于采食后0、1、3、6、9 h采集瘤胃背侧、腹侧、中间、前部和后部5个位点瘤胃液50 mL,立即测pH,50 mL瘤胃液经4层纱布过滤后,用于测定氨态氮(NH<sub>3</sub>-N)含量,另取2层纱布过滤后的食糜进行纤维素酶活性测定,均保存于-70℃冰箱。

## 1.4 测定指标与方法

根据《动物营养与饲料科学实践教程》<sup>[14]</sup> 测定采食饲料和粪便中干物质 (DM)、有机物 (OM)、NDF 和酸性洗涤纤维 (ADF) 的含量, 并根据下列公式计算其表观消化率。

某养分表观消化率 (%) =  $100 \times (B - C) / B$ 。

式中:  $B$  为试验羊采食饲料中该养分的含量;  $C$  为粪便中该养分的含量。

pH 测定: 将矫正好的 pH 计插入刚采集出来的瘤胃液中, 待其稳定后迅速读数。

$\text{NH}_3\text{-N}$  含量: 取保存好的瘤胃液 10 mL, 3 000 r/min 离心 15 min, 采集上清液, 根据冯宗慈等<sup>[15]</sup> 的比色法测定其含量。

纤维素酶活性测定: 本试验酶活性测定方法为 DNS 法, 参照汪水平等<sup>[16]</sup>、钟志勇<sup>[17]</sup>, 主要测定羧甲基纤维素钠酶 (CMC)、葡萄糖苷酶、木聚糖酶活性。所用试剂分别为葡萄糖 (天津市盛奥化学试剂有限公司)、木糖 (上海蓝季科技发展有限公司)、羧甲基纤维素钠 (国药集团化学试剂有限公司)、水杨苷 (源叶生物 S11147)、木聚糖 (源叶生物 S25540)。标准曲线测定如下图:

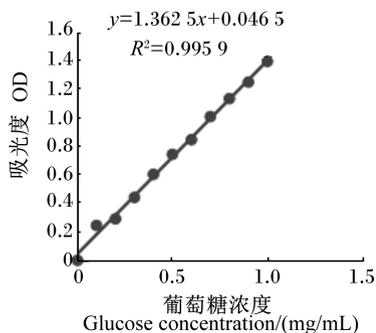


图 1 葡萄糖标准曲线图

Fig.1 Glucose standard curve

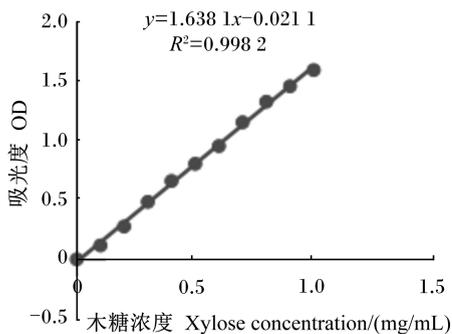


图 2 木糖标准曲线图

Fig.2 Xylose standard curve

## 1.5 数据处理

试验数据采用 SPSS 17.0 软件中单因素方差分析进行显著性检验, Duncan 氏法多重比较其差异性, 试验结果用平均值  $\pm$  标准差表示,  $P < 0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 NFC/NDF 饲料对营养物质表观消化率的影响

由表 2 可知, 饲料 DM 在相同摄入水平下, DM 表观消化率为: Ⅲ组 > Ⅳ组 > Ⅱ组 > Ⅰ组, 其中 Ⅲ组和 Ⅳ组的 DM 表观消化率分别为 70.76%、70.24%, 显著高于 Ⅰ组和 Ⅱ组 ( $P < 0.05$ )。OM 摄入量为: Ⅳ组 > Ⅲ组 > Ⅱ组 > Ⅰ组, Ⅳ组 OM 摄入量显著高于其他 3 组 ( $P < 0.05$ ), OM 表观消化率为: Ⅳ组 > Ⅲ组 > Ⅱ组 > Ⅰ组, Ⅲ组和 Ⅳ组 OM 表观消化率显著高于 Ⅰ组和 Ⅱ组 ( $P < 0.05$ ), 但 Ⅲ组和 Ⅳ组间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。NDF 摄入量为: Ⅰ组 > Ⅱ组 > Ⅲ组 > Ⅳ组, Ⅰ组 NDF 摄入量显著高于其他 3 组 ( $P < 0.05$ ), NDF 表观消化率为: Ⅲ组 > Ⅳ组 > Ⅱ组 > Ⅰ组, 但组间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。Ⅰ组 ADF 摄入量最大, 显著高于其他 3 组 ( $P < 0.05$ ), ADF 表观消化率为: Ⅲ组 > Ⅳ组 > Ⅱ组 > Ⅰ组, 但组间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。

### 2.2 不同 NFC/NDF 饲料对瘤胃 pH 的影响

由表 3 可知, 各组 pH 随时间点先降低后增高, 除 0 h 外, 各组间 pH 均差异显著 ( $P < 0.05$ )。0~3 h 各组 pH 均逐渐下降, 3 h 时达到最低值, 分别为 6.00、5.57、5.53、5.41, 此时 Ⅳ组的 pH 显著低于其他 3 组 ( $P < 0.05$ )。3~9 h 各组 pH 逐渐上升, 9 h 时达到最高值, 此时 Ⅰ组的 pH 显著高于其他 3 组 ( $P < 0.05$ )。随着饲料 NFC/NDF 的升高, pH 逐渐下降, Ⅳ组的平均 pH 显著低于其他 3 组 ( $P < 0.05$ )。

### 2.3 不同 NFC/NDF 饲料对瘤胃 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量的影响

由表 4 可知, 采食后 0~3 h, 各组  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量逐渐上升, 3 h 时达到最高值, 分别为 17.00、18.03、20.32、18.77 mg/dL, 此时 Ⅲ组  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量显著高于其他 3 组 ( $P < 0.05$ )。采食后 3~9 h, Ⅰ组和 Ⅱ组的  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量逐渐降低, Ⅲ组和 Ⅳ组的  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量在 6~9 h 有所提高。随着饲料 NFC/NDF 的升高,  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量呈先增加后降低的趋势,

$\text{NH}_3\text{-N}$  平均含量为: III组>IV组>II组>I组,但组间差异不显著( $P>0.05$ )。

表2 不同 NFC/NDF 饲料营养物质表观消化率的比较

Table 2 Comparison of nutrient apparent digestibility of different NFC/NDF diets

| 项目<br>Items                    | 组别 Groups                |                            |                            |                            | P 值<br>P-value |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|
|                                | I                        | II                         | III                        | IV                         |                |
| 干物质 DM                         |                          |                            |                            |                            |                |
| 摄入量 Intake/(g/d)               | 1 100.49±3.05            | 1 100.09±2.38              | 1 100.26±1.56              | 1 100.12±1.22              | 0.85           |
| 表观消化率 Apparent digestibility/% | 56.12±1.89 <sup>c</sup>  | 63.15±2.03 <sup>b</sup>    | 70.76±1.44 <sup>a</sup>    | 70.24±1.09 <sup>a</sup>    | <0.01          |
| 有机物 OM                         |                          |                            |                            |                            |                |
| 摄入量 Intake/(g/d)               | 996.05±2.77 <sup>d</sup> | 1 001.37±3.04 <sup>c</sup> | 1 010.90±1.65 <sup>b</sup> | 1 013.65±2.13 <sup>a</sup> | <0.01          |
| 表观消化率 Apparent digestibility/% | 50.74±1.34 <sup>b</sup>  | 51.08±2.03 <sup>b</sup>    | 52.54±2.19 <sup>a</sup>    | 52.99±2.01 <sup>a</sup>    | <0.01          |
| 中性洗涤纤维 NDF                     |                          |                            |                            |                            |                |
| 摄入量 Intake/(g/d)               | 552.02±3.05 <sup>a</sup> | 443.30±2.59 <sup>b</sup>   | 383.00±1.89 <sup>c</sup>   | 338.00±1.56 <sup>d</sup>   | <0.01          |
| 表观消化率 Apparent digestibility/% | 44.60±2.90               | 44.92±1.92                 | 48.04±1.89                 | 46.70±2.03                 | 0.22           |
| 酸性洗涤纤维 ADF                     |                          |                            |                            |                            |                |
| 摄入量 Intake/(g/d)               | 367.51±3.45 <sup>a</sup> | 287.32±2.78 <sup>b</sup>   | 238.04±1.98 <sup>c</sup>   | 214.06±2.01 <sup>d</sup>   | <0.01          |
| 表观消化率 Apparent digestibility/% | 35.22±1.01               | 35.77±1.78                 | 38.64±1.99                 | 36.74±2.01                 | 0.65           |

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

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

表3 不同 NFC/NDF 饲料瘤胃 pH 的比较

Table 3 Comparison of rumen pH of different NFC/NDF diets

| 时间<br>Time/h | 组别 Groups              |                        |                        |                        | P 值<br>P-value |
|--------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|----------------|
|              | I                      | II                     | III                    | IV                     |                |
| 0            | 6.98±0.02              | 6.83±0.03              | 7.02±0.12              | 7.02±0.09              | 0.90           |
| 1            | 6.82±0.13 <sup>a</sup> | 5.89±0.03 <sup>b</sup> | 5.63±0.12 <sup>b</sup> | 5.83±0.07 <sup>b</sup> | <0.01          |
| 3            | 6.00±0.12 <sup>a</sup> | 5.57±0.23 <sup>b</sup> | 5.53±0.12 <sup>b</sup> | 5.41±0.04 <sup>c</sup> | <0.01          |
| 6            | 6.26±0.11 <sup>a</sup> | 6.12±0.23 <sup>b</sup> | 6.04±0.08 <sup>c</sup> | 5.84±0.03 <sup>d</sup> | <0.01          |
| 9            | 6.44±0.00 <sup>b</sup> | 6.69±0.34 <sup>a</sup> | 6.18±0.03 <sup>c</sup> | 6.17±0.15 <sup>c</sup> | <0.01          |
| 平均 Mean      | 6.50±0.21 <sup>a</sup> | 6.22±0.23 <sup>b</sup> | 6.08±0.19 <sup>c</sup> | 6.05±0.09 <sup>d</sup> | <0.01          |

表4 不同 NFC/NDF 饲料瘤胃  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量的比较

Table 4 Comparison of  $\text{NH}_3\text{-N}$  content in rumen of different NFC/NDF diets

mg/dL

| 时间<br>Time/h | 组别 Groups               |                         |                         |                         | P 值<br>P-value |
|--------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|
|              | I                       | II                      | III                     | IV                      |                |
| 0            | 10.76±1.07 <sup>d</sup> | 11.11±1.23 <sup>c</sup> | 12.24±0.98 <sup>a</sup> | 11.90±2.11 <sup>b</sup> | <0.01          |
| 1            | 14.51±2.80              | 13.33±1.90              | 14.77±1.35              | 14.95±1.27              | 0.20           |
| 3            | 17.00±1.51 <sup>d</sup> | 18.03±1.38 <sup>c</sup> | 20.32±2.21 <sup>a</sup> | 18.77±1.90 <sup>b</sup> | <0.01          |
| 6            | 11.22±1.28 <sup>a</sup> | 11.25±1.07 <sup>a</sup> | 11.44±1.35 <sup>a</sup> | 9.82±1.11 <sup>b</sup>  | <0.01          |
| 9            | 9.00±1.10 <sup>c</sup>  | 9.35±1.08 <sup>c</sup>  | 11.57±1.40 <sup>b</sup> | 12.77±1.30 <sup>a</sup> | <0.01          |
| 平均 Mean      | 12.50±3.19              | 12.86±3.13              | 14.08±3.40              | 13.62±3.08              | 0.08           |

## 2.4 不同 NFC/NDF 饲料对瘤胃纤维素酶活性的影响

由表 5 可知,随着饲料 NFC/NDF 的升高,CMC 活性逐渐降低,葡萄糖苷酶和木聚糖酶活性则先升高后降低,但随着饲料 NFC/NDF 的变化,各组间平均酶活性差异不显著 ( $P>0.05$ )。

由表 5 可知,随着饲料 NFC/NDF 的升高,CMC 平均活性逐渐降低,各组酶活性除 6 h 外,其余时间点差异均不显著 ( $P>0.05$ )。0~3 h,除 III 组外,各组酶活性均逐渐降低, I 组和 II 组酶活性在 3 h 达到最低值,此时酶活性为: II 组> I 组> III 组> IV 组。3~6 h,各组酶活性均有所上升,6 h 时,除 IV 组外,各组酶活性均达到最大值,此时酶活性为: II 组> I 组> III 组> IV 组, II 组和 I 组酶活性显著高于 III 组和 IV 组 ( $P<0.05$ )。6~9 h,各组酶活性均有所下降,9 h 时酶活性为: I 组> II 组> III 组> IV 组。CMC 平均酶活性为: I 组> II 组> III 组> IV 组,但组间差异不显著 ( $P>0.05$ )。

由表 5 可知,随着饲料 NFC/NDF 的升高,葡萄糖苷酶平均活性先升高后降低: II 组> I 组> III

组> IV 组,但各组间差异不显著 ( $P>0.05$ )。0~3 h,除 I 组外,各组酶活性均逐渐降低,3 h 时,4 组酶活性均达到最低值,此时酶活性为: II 组> I 组> III 组> IV 组, I 组和 II 组酶活性显著高于 IV 组 ( $P<0.05$ )。3~6 h,各组酶活性均有所上升,6 h 时, I 组和 II 组酶活性均达到最大值,显著高于 III 组和 IV 组 ( $P<0.05$ )。6~9 h, I 组和 II 组酶活性降低,而 III 组和 IV 组酶活性有所上升,9 h 酶活性为: II 组> I 组> III 组> IV 组,但组间差异不显著 ( $P>0.05$ )。

由表 5 可知,随着饲料 NFC/NDF 的升高,木聚糖酶平均活性先升高后降低: II 组> I 组> III 组> IV 组,但组间差异不显著 ( $P>0.05$ )。0~3 h, III 组和 IV 组酶活性逐渐降低, I 组和 II 组酶活性在 0~1 h 逐渐降低,1~3 h 逐渐升高,3 h 时, III 组和 IV 组酶活性均降到最低值,此时酶活性为: II 组> I 组> III 组> IV 组, II 组酶活性显著高于其他 3 组 ( $P<0.05$ )。6 h 时, IV 组酶活性降到最低值,显著低于其他 3 组 ( $P<0.05$ )。6~9 h,除 II 组,各组酶活性均有所上升,9 h 时,酶活性为: II 组> I 组> III 组> IV 组,但组间差异不显著 ( $P>0.05$ )。

表 5 不同 NFC/NDF 饲料瘤胃纤维素酶活性的比较

Table 5 Comparison of cellulase activities in rumen of different NFC/NDF diets

U/g

| 项目<br>Items          |         | 组别 Groups               |                         |                          |                         | P 值<br>P-value |
|----------------------|---------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------|
|                      |         | I                       | II                      | III                      | IV                      |                |
| 羧甲基纤维素钠酶<br>CMC      | 0 h     | 11.68±2.01              | 11.98±2.34              | 9.61±1.55                | 10.32±2.23              | 0.49           |
|                      | 1 h     | 10.50±0.86              | 10.03±2.12              | 10.30±0.84               | 9.49±1.16               | 0.80           |
|                      | 3 h     | 9.46±1.43               | 10.15±0.76              | 9.44±1.45                | 8.91±1.10               | 0.68           |
|                      | 6 h     | 14.17±1.50 <sup>a</sup> | 15.64±0.57 <sup>a</sup> | 10.31±0.94 <sup>b</sup>  | 9.30±1.95 <sup>b</sup>  | <0.01          |
|                      | 9 h     | 11.40±2.08              | 10.52±1.13              | 9.56±0.96                | 8.81±1.51               | 0.22           |
|                      | 平均 Mean | 12.56±1.44              | 11.66±2.55              | 9.86±1.08                | 9.37±1.50               | 0.16           |
| 葡萄糖苷酶<br>Glucosidase | 0 h     | 1.36±0.19               | 1.65±0.13               | 1.74±0.25                | 1.49±0.11               | 0.11           |
|                      | 1 h     | 1.64±0.13 <sup>a</sup>  | 1.32±0.14 <sup>ab</sup> | 1.13±0.21 <sup>b</sup>   | 0.84±0.18 <sup>c</sup>  | <0.01          |
|                      | 3 h     | 1.06±0.18 <sup>a</sup>  | 1.17±0.20 <sup>a</sup>  | 0.86±0.22 <sup>ab</sup>  | 0.52±0.17 <sup>b</sup>  | 0.01           |
|                      | 6 h     | 1.87±0.20 <sup>a</sup>  | 2.08±0.26 <sup>a</sup>  | 1.23±0.26 <sup>b</sup>   | 0.96±0.33 <sup>b</sup>  | <0.01          |
|                      | 9 h     | 1.44±0.23               | 1.78±0.20               | 1.47±0.20                | 1.37±0.29               | 0.22           |
|                      | 平均 Mean | 1.47±0.32               | 1.60±0.17               | 1.29±0.36                | 1.04±0.41               | 0.54           |
| 木聚糖酶<br>Xylanase     | 0 h     | 16.63±1.09              | 18.64±1.34              | 19.39±1.52               | 17.64±1.04              | 0.11           |
|                      | 1 h     | 15.33±2.08              | 16.57±1.30              | 18.47±0.59               | 16.32±1.50              | 0.14           |
|                      | 3 h     | 17.52±1.03 <sup>b</sup> | 18.26±1.22 <sup>a</sup> | 16.27±0.93 <sup>bc</sup> | 14.58±0.81 <sup>c</sup> | <0.01          |
|                      | 6 h     | 19.74±1.16 <sup>a</sup> | 22.24±1.77 <sup>a</sup> | 16.33±0.86 <sup>b</sup>  | 10.61±1.68 <sup>c</sup> | <0.01          |
|                      | 9 h     | 19.75±1.05              | 18.45±2.33              | 18.18±1.71               | 16.66±1.20              | 0.23           |
|                      | 平均 Mean | 17.79±2.13              | 18.83±2.37              | 17.73±1.63               | 15.16±2.79              | 0.30           |

### 3 讨论

#### 3.1 不同 NFC/NDF 饲料对营养物质表观消化率的影响

传统的精粗比不能准确地代表饲料碳水化合物结构组成, NFC/NDF 更能反映饲料碳水化物的组成及其发酵程度, NFC/NDF 对营养物质的消化降解率有较大影响, 饲料在瘤胃内的初始发酵速度主要取决于 NFC 的含量, 饲料中能够利用的能量则主要取决于 NDF 含量。有研究表明, 饲料 NFC/NDF 或精粗比在一定范围内时, 随着 NFC 或精料的升高, 饲料中 OM、NDF 和 ADF 消化率均逐渐升高; 王志有等<sup>[18]</sup> 研究发现, 育肥藏羔羊时, 精料比例的增加可有效提高饲料利用效率, 但超出一定范围时, 营养物质消化率下降; 王加启等<sup>[19]</sup> 研究表明, 体外发酵不同精粗比饲料时, 精粗比为 5:5 时, OM、NDF 和 ADF 消化率最高, 精粗比为 7:3 时则略有下降。本试验中, 随着饲料 NFC/NDF 的升高, III 组的 DM、NDF 和 ADF 表观消化率高于 IV 组, 这表明 NFC 超过一定量时, 对瘤胃内饲料的消化具有一定的负作用。这与李华<sup>[20]</sup> 报道相类似, 其研究指出饲料精料水平对绵羊瘤胃中玉米秸秆的消化率有较大的影响, 随着精料水平的提高, NDF 和 ADF 消化率逐渐下降。魏全意等<sup>[21]</sup> 在动物生长试验中发现类似规律, 精料补充量在适宜范围内, 精料转化率升高, 超出一定范围时, 精料转化率显著下降。本试验中, III 组饲料 (NFC/NDF 为 1.37) 营养物质表观消化率最高, Song 等<sup>[22]</sup> 研究发现, NFC/NDF 为 1.66 时, 营养物质消化率高于 1.16 组, 这与本试验结果相一致。

#### 3.2 不同 NFC/NDF 饲料对瘤胃 pH 的影响

pH 是反映瘤胃是否正常的最直观的指标, 饲料精粗比是影响 pH 的关键因素。有研究表明, 瘤胃 pH 随饲料精粗比的改变而发生变化<sup>[23-24]</sup>, 韩吴奇等<sup>[25]</sup> 研究发现, 随着饲料 NFC/NDF 的增大, 奶山羊瘤胃 pH 显著降低, 当比值达到 2.58 时发生瘤胃亚急性酸中毒。由本试验结果可知, 绵羊瘤胃 pH 随采食时间先降低后升高, 随着饲料 NFC/NDF 的增大, 瘤胃 pH 降低, 采食后 0~3 h, 各组 pH 均下降, IV 组 pH 降低最快, 这主要是由于随着饲料 NFC/NDF 的升高, 饲料中易消化碳水化合物增多, 产生的挥发性脂肪酸 (VFA) 增多, 而 NDF 含量少, 绵羊反刍次数减少, 到瘤胃中的唾液

减少, 导致 IV 组 pH 低于其他 3 组, 采食 6~9 h 后, 随着 VFA 含量下降, 反刍次数增多, 唾液的增多, 瘤胃 pH 逐渐上升。张腾等<sup>[26]</sup> 饲喂奶山羊精粗比为 6:4 和 4:6 饲料时, 结果表明高精料饲料组 pH 显著低于低精料组, 与本试验结果相一致, 而甘伯中等<sup>[27]</sup> 饲喂羔羊不同精粗比的全颗粒饲料时, 发现各组的 pH 差异不显著, 这可能与羊的品种、年龄、饲料等不同存在一定关系。本试验结果中 IV 组绵羊采食后 1~6 h 时, pH 均低于 6.0, Yang 等<sup>[28]</sup> 指出 pH 处于 6.0 左右时, 动物长期处于病理状态, 因此, IV 组饲料可能会对瘤胃产生一定的影响, 需进一步验证。

#### 3.3 不同 NFC/NDF 饲料对瘤胃 NH<sub>3</sub>-N 含量的影响

NH<sub>3</sub>-N 含量在一定程度上可反映饲料精粗比组成以及蛋白质吸收与利用情况。微生物利用 NH<sub>3</sub>-N 等合成微生物蛋白, NH<sub>3</sub>-N 含量过高或过低均不利于微生物的生长与繁殖。饲料精粗比对其含量有很大的影响<sup>[29]</sup>。Murphy 等<sup>[30]</sup> 研究表明, 微生物发酵的最适 NH<sub>3</sub>-N 含量为 6.3~27.5 mg/dL, 由本试验结果可知各组 NH<sub>3</sub>-N 含量均在 9.00~20.32 mg/dL, 符合正常范围。崔利宏<sup>[31]</sup> 研究发现, 饲料精粗比为 3:7 和 4:6 时产生的 NH<sub>3</sub>-N 含量显著高于 2:8 组。这主要是由于高精料组的蛋白质含量高于低精料组, 采食后降解产生的 NH<sub>3</sub>-N 含量高于低精料组。由本试验结果可知, III 组和 IV 组的 NFC/NDF 高, 产生的 NH<sub>3</sub>-N 平均含量高于 I 组和 II 组, 这与王海荣<sup>[32]</sup> 结果相一致。IV 组平均 NH<sub>3</sub>-N 含量低于 III 组, 这主要是由于高 NFC/NDF 饲料可以减少脱氨基或者加强瘤胃微生物对释放氨基的利用, 从而减少瘤胃中 NH<sub>3</sub>-N 含量。由试验饲料营养水平可知, 4 组饲料蛋白质含量均差异不显著, 但产生的平均 NH<sub>3</sub>-N 含量存在一定的差异, 因此需进一步探讨影响 NH<sub>3</sub>-N 含量的饲料因素。

#### 3.4 不同 NFC/NDF 饲料对瘤胃纤维素酶活性的影响

纤维素酶在反刍动物消耗纤维物质上起着重要作用, 饲料精粗比可对瘤胃纤维素酶活性产生显著影响<sup>[33]</sup>。汪水平等<sup>[34]</sup> 研究表明, pH 在一定范围内时, 饲料精粗比对纤维降解酶的活性影响差异不显著。本试验结果表明, NFC/NDF 在 0.54~1.90 时对 4 种饲料的 3 种纤维素酶平均活

性均无显著影响。随着饲料 NFC/NDF 的升高, II 组葡萄糖苷酶和木聚糖酶活性均高于 I 组, III 组和 IV 组平均酶活性则低于 I 组和 II 组, 即 II 组 (NFC/NDF 为 0.96) 纤维素酶活性最高, 超出 II 组 NFC 比例时, 纤维素酶活性降低, 这与霍鲜鲜等<sup>[12]</sup>结果相一致。研究表明纤维素酶活性的大小与瘤胃液 pH 直接相关<sup>[35]</sup>, pH 低于 6.0 时会降低纤维素酶的活性。本试验结果表明, pH 长期低于 6.0 时对 CMC 和木聚糖酶活性具有显著影响, 这与 Russell 等<sup>[36]</sup>结果相一致。

本试验结果中 III 组纤维物质降解率最高, 与纤维素酶活性结果略有差异, 这可能是由于高 NFC 比例饲料下可供微生物生长的碳水化合物含量高, 微生物数量高于 I 组和 II 组, 导致 III 组纤维物质降解率高于 I 组和 II 组。由此可知, 饲料中精料增加一定量时, 可使纤维素酶活性提高, 但超过一定水平时酶活性下降, 这可能是由于 pH 降低, 抑制纤维素菌的生长, 另外饲料中 NFC 比例也会对瘤胃微生物产生一定的影响, 当比例过高时会引起与饲料黏附在一起的微生物数量的下降, 进而造成纤维素酶活性的降低。

## 4 结 论

① 依据营养物质表观消化率和瘤胃发酵参数, NFC/NDF 为 1.37 时更适宜瘤胃发酵。

② 饲料中 NFC/NDF 在 0.54~1.90 时, 对瘤胃纤维素酶平均活性无显著影响。

## 参考文献:

[1] 宋善丹, 饶开晴, 郭春华, 等. 日粮精粗比在肉羊生产中应用的研究进展[J]. 畜牧与兽医, 2015, 47(5): 135-139.

[2] 朱晋龙, 徐晓峰, 王文辉, 等. 体外产气法研究不同种类谷物饲料与苜蓿的瘤胃发酵组合效应[J]. 饲料研究, 2015(22): 27-28+37.

[3] 李婉, 张爱忠, 姜宁, 等. 不同精料水平对绒山羊体外发酵的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2008(1): 40-42.

[4] HIRONAKA R, MATHISON G W, KERRIGAN B K, et al. The effect of pelleting of alfalfa hay on methane production and digestibility by steers[J]. Science of the Total Environment, 1996, 180(3): 221-227.

[5] LOVETT D, LOVELL S, STACK L, et al. Effect of forage/concentrate ratio and dietary coconut oil level on methane output and performance of finishing beef

heifers[J]. Livestock Production Science, 2003, 84(2): 135-146.

- [6] CORLEY III R N, MURPHY M R. An *in vitro* technique for measuring the production rate of volatile fatty acids in the rumen under dynamic conditions[J]. Small Ruminant Research, 2004, 54(3): 219-225.
- [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] 秦正君, 王若勇, 时国峰, 等. 日粮精粗比对奶牛瘤胃发酵及生产性能的影响[J]. 畜牧兽医杂志, 2018, 37(1): 83-85.
- [9] 赵芸君, 孟庆翔, 张俊瑜, 等. 日粮精粗比对活体外瘤胃发酵和烟酸、烟酰胺合成的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2014, 41(11): 101-106.
- [10] 王贞贞, 侯先志, 王海荣, 等. 不同氮源对绵羊瘤胃内固液相纤维素酶活的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2008, 29(1): 4-9.
- [11] 冯兴龙, 赵春平, 竺林森, 等. 不同粗饲料处理对秦川肉牛产肉性能影响的研究[J]. 中国牛业科学, 2014, 40(6): 20-24.
- [12] 霍鲜鲜, 侯先志, 赵志恭, 等. 不同精粗比日粮对绵羊瘤胃内纤维素酶活的影响[J]. 甘肃畜牧兽医, 2003, 33(5): 16-20.
- [13] 中华人民共和国农业行业标准-肉羊饲养标准(NY/T 816—2004)[J]. 湖南饲料, 2006(6): 9-15.
- [14] 钱文熙, 郭雪峰, 张苏江. 动物营养与饲料科学实践教程[M]. 北京: 中国质检出版社, 2012: 22-39.
- [15] 冯宗慈, 高民. 通过比色测定瘤胃液氮含量方法的改进[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(6/7): 37.
- [16] 汪水平, 王文娟. 瘤胃纤维降解相关酶活性的测定[J]. 中国饲料, 2006(11): 31-32.
- [17] 钟志勇. 不同组合的功能性寡糖对锦江黄牛瘤胃发酵和内容物酶活的影响[D]. 硕士学位论文. 南昌: 江西农业大学, 2012.
- [18] 王志有, 侯生珍, 范永涛. 日粮精粗比对藏羔羊增重的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2011, 38(7): 233-235.
- [19] 王加启, 冯仰廉. 日粮精粗比对瘤胃微生物合成效率的影响[J]. 畜牧兽医学报, 1995, 26(4): 301-307.
- [20] 李华. 粗饲料中纤维素、半纤维素酶解测定方法的研究与评价[D]. 博士学位论文. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2008.
- [21] 魏全意, 吴金龙, 丁永忠, 等. 预混料及不同精料给量对舍饲小尾寒羊育肥效果的研究[J]. 饲料研究, 2003(1): 5-7.
- [22] SONG S D, CHEN G J, GUO C H, et al. Effects of exogenous fibrolytic enzyme supplementation to diets

- with different NFC/NDF ratios on the growth performance, nutrient digestibility and ruminal fermentation in Chinese domesticated black goats [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 236: 170–177.
- [23] 魏德泳, 朱伟云, 毛胜勇. 日粮不同 NFC/NDF 比对山羊瘤胃发酵与瘤胃微生物区系结构的影响 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45(7): 1392–1398.
- [24] 刘清清. 日粮精粗比对绵羊消化和瘤胃消化代谢的影响 [D]. 硕士学位论文. 晋中: 山西农业大学, 2014.
- [25] 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]. *畜牧与饲料科学*, 2011, 23(4): 597–603.
- [26] 张腾, 庄苏, 董文超, 等. 不同精粗比日粮对奶山羊瘤胃液 pH 值、VFA 及血液 VFA 含量的影响 [J]. *畜牧与兽医*, 2013, 45(4): 5–10.
- [27] 甘伯中, 程胜利, 郝正里, 等. 全饲粮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.
- [28] YANG W Z, BEAUCHEMIN K A. Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage [J]. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(1): 217–228.
- [29] 李大彪. 绵羊和绒山羊采食行为以及对三种不同粗饲料日粮纤维消化率的比较研究 [D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2007.
- [30] MURPHY J J, KENNELLY J J. Effect of protein concentration and protein source on the degradability of dry matter and protein *in situ* [J]. *Journal of Dairy Science*, 1987, 70(9): 1841–1849.
- [31] 崔利宏. 牧草收割期和日粮精粗比对绵羊瘤胃内营养物质降解的影响 [D]. 硕士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [32] 王海荣. 不同日粮精粗比及氮源对绵羊瘤胃纤维降解菌群和纤维物质降解的影响 [D]. 博士学位论文. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2006.
- [33] 沈赞明, 韩正廉. 不同日粮条件下水牛瘤胃真菌纤维素酶活力的体外研究 [J]. *南京农业大学学报*, 1995, 18(2): 84–89.
- [34] 汪水平, 王文娟, 龚月生, 等. 日粮精粗比对泌乳奶牛瘤胃纤维降解酶活性及血液指标的影响 [J]. *西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2007, 35(5): 57–62, 68.
- [35] SCHWARZ W. The cellulosome and cellulose degradation by anaerobic bacteria [J]. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2001, 56(5/6): 634–649.
- [36] RUSSELL J B, WILSON D B. Why are Ruminal cellulolytic bacteria unable to digest cellulose at low pH? [J]. *Journal of Dairy Science*, 1996, 79(8): 1503–1509.

## Effects of Dietary Non-Fibrous Carbohydrate/Neutral Detergent Fiber on Digestion, Rumen Fermentation Parameters and Cellulase Activities in Sheep

PU Xuanxuan<sup>1</sup> GUO Xuefeng<sup>1,2\*</sup> JIANG Chenyu<sup>1</sup> LIU Junfeng<sup>1,2</sup>  
ZHANG Xiuping<sup>1,2</sup> ZHANG Sujiang<sup>1,2</sup>

(1. College of Animal Science, Tarim University, Alar 843300, China; 2. Key Laboratory of Tarim Animal Husbandry Science and Technology, Alar 843300, China)

**Abstract:** The experiment was conducted to investigate the effects of non-fibrous carbohydrate/neutral detergent fiber (NFC/NDF) on the nutrient apparent digestibility and rumen fermentation characters. Four kinds diets with different NFC/NDF of 0.54 (group I), 0.96 (group II), 1.37 (group III) and 1.90 (group IV) were formulated in the experiment. Rumen digesta were collected to measure dynamic changes of rumen fermentation indices and cellulase activities, and the nutrient apparent digestibility were determined by digestion test in the same time. The results showed as follows: 1) the apparent digestibility of dry matter (DM) and organic matter (OM) in groups III and IV were significantly higher than those in groups I and II ( $P < 0.05$ ). The apparent digestibility of NDF and acid detergent fiber (ADF) were group III > group IV > group II > group I, but there was no significant difference among groups ( $P > 0.05$ ). 2) The average pH in rumen group IV was significantly lower than that in other three groups ( $P < 0.05$ ). The average content of  $\text{NH}_3\text{-N}$  was group III > group IV > group II > group I, but there was no significant difference among groups ( $P > 0.05$ ). 3) The average enzyme activity of sodium carboxymethylcellulose (CMC) was group I > group II > group III > group IV, the average enzyme activities of glucoside and xylan were group II > group I > group III > group IV, but the difference was not significant among groups ( $P > 0.05$ ). According to the apparent digestibility of nutrients and rumen fermentation characters, the dietary NFC/NDF of 1.37 is more suitable for sheep; when the dietary of NFC/NDF varies from 0.54 to 1.90, there is no significant difference in the average cellulase activity in rumen. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(10):4859-4867]

**Key words:** NFC/NDF; rumen fermentation parameters; apparent digestibility; cellulase