

## 青干草颗粒度对绵羊日粮养分后肠道消化的影响

孔祥浩<sup>1,2</sup> 张玉枝<sup>1</sup> 朱晓萍<sup>1</sup> 贾志海<sup>1</sup> 郭金双<sup>2</sup> 王润莲<sup>1</sup> 张微<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 动物科学技术学院, 北京 100094; 2. 河北北方学院 动物科学系, 河北 张家口 071000)

**摘要** 为探讨粗饲料颗粒度对反刍动物饲料养分在后肠道及全消化道消化的影响, 本试验将饲料中的粗料青干草进行整草、长铡草(4~6 cm, 长草)、短铡草(1~3 cm, 短草)和粉碎(0.5 cm, 粉草)4种颗粒度的机械加工后进行定量饲喂(4×4拉丁方试验)。结果表明: 1) 青干草不同颗粒度饲料在后肠道消化量占总消化量的比率为干物质28.50%~32.64%、粗蛋白14.63%~19.76%、中性洗涤纤维24.31%~28.00%、酸性洗涤纤维21.76%~25.08%; 粉草饲料中的干物质、粗蛋白、中性洗涤纤维的后肠道消化量占总消化量的比率均显著( $P < 0.05$ )高于其他3种饲料, 酸性洗涤纤维的比率则极显著( $P < 0.01$ )高于其他饲料; 2) 4种饲料的干物质、粗蛋白和酸性洗涤纤维全消化道表观消化率未发生明显改变, 粉草饲料的中性洗涤纤维全消化道表观消化率则明显( $P < 0.05$ )降低。由此可见, 粗饲料颗粒度过小, 降低饲料养分在瘤胃和小肠的消化, 饲料养分在后肠道的消化增加。

**关键词** 青干草; 颗粒度; 绵羊; 后肠道; 全消化道; 消化

中图分类号 S 816.5; S 826

文章编号 1007-4333(2005)04-0097-05

文献标识码 A

## Influence of particle size of hay on nutrient digestion in hindgut of sheep

Kong Xianghao<sup>1,2</sup>, Zhang Yuzhi<sup>1</sup>, Zhu Xiaoping<sup>1</sup>, Jia Zhihai<sup>1</sup>, Guo Jinshuang<sup>2</sup>, Wang Runlian<sup>1</sup>, Zhang Wei<sup>1</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2. Department of Animal Science, Hebei North College, Zhangjiakou 071000, China)

**Abstract** Four 4-month-old wethers fitted with ileal cannulas were fed a constant concentrate and a hay in baled (BH), long chopped (4~6 cm, LCH), short chopped (1~3 cm, SCH) and fine ground (0.5 cm, FGH) form in a 4×4 Latin square design to evaluate the effects of forage particle size on nutrient digestion in the hindgut and total tract of sheep. Averaged nutrients digestion in the hindgut as a percentage of total tract digestion were as following: DM from 28.50% to 32.64%, CP from 14.63% to 19.76%, NDF from 24.31% to 28.00%, and ADF from 21.76% to 25.08% for the diets containing different particle size of hay. DM, CP, and NDF digestion in the the hindgut as a percentage of total tract digestion of the diet containing FGH was significantly higher ( $P < 0.05$ ) than that of other diets and that of ADF of this diet was significantly higher ( $P < 0.01$ ) than that of other diets. Digestion of DM, OM, CP and ADF in total tract were unaffected by diets, but digestion of NDF in total tract was significantly lower ( $P < 0.05$ ) in FGH diet. Forage with much small particle size could decrease nutrient digestion in the rumen and the small intestine and increase nutrient digestion in the hindgut of sheep.

**Key words** hay; particle size; sheep; hindgut; total tract; digestion

瘤胃和小肠作为反刍动物营养物质消化吸收的主要部位, 人们对其进行了大量的系统研究。尽管早在1944年 Barcroft 等<sup>[1]</sup>就证实反刍动物可以从

盲肠吸收挥发性脂肪酸(VFA), McDonald 等<sup>[2]</sup>在1948年证实反刍动物可以从大肠吸收NH<sub>3</sub>, 但是反刍动物后肠道对营养物质的消化吸收作用并未得到

收稿日期: 2005-02-24

基金项目: 国家高技术发展计划资助项目(2002AA241181)

作者简介: 孔祥浩, 教授, 博士研究生; 贾志海, 教授, 博士生导师, 通讯作者, 主要从事反刍动物营养及养羊科学研究, E-mail: jzh331@cau.edu.cn

广泛关注,国外相关的报道较少。Hoover<sup>[3]</sup>总结指出,后肠道消化的纤维素和半纤维素分别占到整个胃肠道消化量的18%~27%和30%~40%,后肠道的VFA产量占到总产量的8.6%~16.8%。Ulyatt等<sup>[4]</sup>报道铡短苜蓿的CP有20%~35%在后肠道消化,干草的CP有33%~36%在后肠道消化。孙海洲<sup>[5]</sup>等试验发现在大肠消失的DM占总消失量的29%。

有关反刍动物后肠道对饲料营养物质的消化利用研究主要集中于不同日粮进食量、精粗比、淀粉含量及饲粮营养水平等对后肠道养分消化利用的影响<sup>[6~8]</sup>。

粗饲料在绵羊饲粮中占有较大比例,以往的研究表明,粗饲料的颗粒度影响饲粮进食量、饲料在瘤胃的存留时间及饲料养分在消化道不同部位的消化利用<sup>[9~11]</sup>。但这些试验多采取精料定量而粗饲料自由采食的方式,只有Tafaj等<sup>[11]</sup>曾用精料和粗料全部定量的方法测定粗饲料颗粒度对全肠道消化率的影响,并未测定其对后肠道消化的作用。为了突出粗饲料颗粒度单因子的作用,本试验采用定量饲喂方式,着重测定青干草颗粒度对绵羊饲粮养分后肠道消化的影响,以丰富反刍动物营养研究参数。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验动物

选择4只健康、体重相近((20.8±0.4)kg)、4月龄小尾寒羊×无角陶赛特F<sub>1</sub>公羔,去势,安装永久回肠末端瘘管(内径5mm)进行试验。

### 1.2 试验设计

4种饲粮组成相同,精粗比为50:50,粗饲料全部为混合青干草(DM中CP8.70%,NDF68.80%),对青干草进行整草、长铡草(4~6cm,长草)、短铡草(1~3cm,短草)和粉碎(0.5cm筛孔,粉草)加工处理。按4×4拉丁方设计,分4期试验,每期15d,前11d预试,第12和13天收集粪样,第14和15天采集回肠食糜样。

### 1.3 试验日粮

试验羊每天定量饲喂混合精料400g和青干草400g。试验饲粮参考NRC<sup>[12]</sup>绵羊营养需要配制,营养水平可满足日增重50g的需要,饲粮组成和营养成分见表1。

### 1.4 饲养管理

试验羊单栏饲养,每日分别在6:00和18:00饲

喂2次,先喂青干草,后喂精料,自由饮水。

表1 试验日粮组成及营养成分

饲粮组成/(kg·(100 kg) <sup>-1</sup> )	营养成分/(g·(100 g DM) <sup>-1</sup> )		
青干草	50.00	ME/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	8.92
玉米	27.90	CP	13.96
小麦麸	12.00	OM	92.03
豆饼	7.00	NDF	39.80
棉籽饼	2.00	ADF	23.76
食盐	0.60	淀粉	22.87
石粉	0.30	Ca	0.34
预混料	0.20	P	0.34
合计	100.00		

注: 预混料含有(g/kg): CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O 0.20, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 11.72, KI 0.34, FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 19.86, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 18.44, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 37.16, Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub> 0.04。为干重测量。为实测值。

### 1.5 样品采集

在各试验期的第12和13天挂粪袋收粪,对粪样混合、称重,取10%在-20℃冰柜保存。第14天6:00从回肠末端瘘管收集食糜1次,以后每间隔2h收集1次;第15天7:00收集1次,以后每间隔2h收集1次。食糜收集总量不少于500mL,在-20℃保存。饲料样、粪样及食糜样均在50℃下鼓风干燥,粉碎(1mm)、保存。

### 1.6 样品分析

测定饲料、食糜和粪样中的DM、OM、CP、NDF、ADF<sup>[13]</sup>、淀粉<sup>[14]</sup>和HCl 4 mol/L不溶灰分(AIA)<sup>[15]</sup>含量。

### 1.7 消化率计算

以HCl 4 mol/L AIA为内源指示剂,计算饲粮养分消化率。

某成分表观消化率(%) = 100 - 100 × [饲料AIA质量分数/粪AIA质量分数] × [粪中该成分质量分数/饲料中该成分质量分数]

某成分回肠表观消化率(%) = 100 - 100 × [饲料AIA质量分数/回肠食糜AIA质量分数] × [回肠食糜中该成分质量分数/饲料中该成分质量分数]

某成分后肠道表观消化率(%) = 表观消化率(%) - 回肠表观消化率(%)

### 1.8 统计分析

利用SAS软件包(The SAS System for Windows V8)中的ANOVA过程进行方差分析,用Duncan法进行多重比较。

## 2 结果与讨论

### 2.1 青干草颗粒度对 DM 消化的影响

试验结果(表2)表明,青干草的不同颗粒度对全消化道 DM 表观消化率未见显著影响,但粉草饲料 DM 回肠消化量明显降低( $P < 0.05$ ),后肠道 DM 消化所占比例则明显增加( $P < 0.05$ ),占总消化量的 32.64%。粗饲料粉碎会加快饲料通过瘤胃

的速度,缩短饲料在瘤胃的停留时间,饲料养分尤其是纤维性物质在瘤胃的消失率降低,进入后肠道的数量增加,在后肠道的消化量加大<sup>[10]</sup>,从而总的 DM 表观消化率下降幅度不大。王钦等<sup>[16]</sup>在绵羊自由采食不同 CP 水平饲料的试验中得出,大肠 DM 消失占总消失量的 16.29%~27.68%;孙海洲等<sup>[5]</sup>给绵羊自由采食青干草的试验结果,在大肠消失的 DM 占总消失量的 29.02%。

表2 青干草颗粒度对 DM 消化的影响

Table 2 Apparent DM digestion of sheep fed diets containing different hay particle size

项 目		整草	长草	短草	粉草
全消化道	总消化量/(g d <sup>-1</sup> )	512.60 ±3.85	512.29 ±3.10	508.46 ±4.19	510.71 ±3.77
	消化率/%	71.31 ±0.54	71.30 ±0.43	70.74 ±0.52	71.05 ±0.58
回肠末端	消化量/(g d <sup>-1</sup> )	363.94 ±6.71 a	366.30 ±4.81 a	361.30 ±9.84 a	344.03 ±6.76 b
	消化率/%	50.63 ±0.93 a	50.96 ±0.67 a	50.26 ±1.37 a	47.86 ±0.94 b
	占总消化量/%	70.99 ±0.87 a	71.50 ±1.02 a	71.05 ±1.48 a	67.36 ±1.05 b
后肠道	消化量/(g d <sup>-1</sup> )	148.66 ±3.69 b	145.99 ±5.64 b	147.16 ±6.65 b	166.69 ±4.95 a
	消化率/%	20.68 ±0.51 b	20.31 ±0.79 b	20.47 ±0.93 b	23.19 ±0.69 a
	占总消化量/%	29.01 ±0.87 b	28.50 ±1.02 b	28.95 ±1.48 b	32.64 ±1.05 a

注:同行数据字母间不同为差异显著( $P < 0.05$ )

### 2.2 青干草颗粒度对 OM 消化的影响

本试验结果表明,整草、长草、短草和粉草饲料全消化道 OM 消化率分别为 74.10%、73.61%、73.38%和 73.21%,回肠 OM 消化率分别为 58.69%、57.98%、57.88%和 55.78%,后肠道消化分别占总消化量的 20.78%、21.23%、21.13%和 23.82%,均无显著差异,表明干草的机械加工对 OM 在消化道不同部位的消化并未产生明显影响。但 Tafaj 等<sup>[11]</sup>报道喂少量精料,粉碎干草自由采食时,绵羊后肠道的饲料通过速度明显加快,OM 的表观消化率明显降低(4.50%~14.00%)。

### 2.3 青干草颗粒度对 CP 消化的影响

青干草颗粒度对全消化道 CP 消化率无显著影响,回肠 CP 消化量及其占进食量的比率均以粉草饲料最低( $P < 0.01$ ),占总消化量的比率也显著( $P < 0.05$ )低于整草、长草和短草饲料,而后肠道 CP 消化的相应指标则均显著( $P < 0.05$ )高于其他 3 种饲料(表3)。而王钦等<sup>[16]</sup>进行的不同 CP 水平饲料试验结果显示,大肠的 CP 消失量占总消失量的 35.34%~38.73%。Beever 等<sup>[17]</sup>指出饲喂粉碎饲料比喂铡短饲料有较多的饲料蛋白质逃避瘤胃降解进入十二指肠,进入后肠道的饲料蛋白也相应增加。

蛋白质在后肠道(主要在盲肠和结肠前段)发生类似瘤胃的反应,部分 NH<sub>3</sub> 被肠壁吸收,用于 N 素循环,部分用于合成菌体蛋白,随粪便排出<sup>[3]</sup>。

### 2.4 青干草颗粒度对 NDF 消化的影响

全消化道 NDF 消化率以长草饲料最高,粉草饲料最低。回肠 NDF 消化量和消化率粉草饲料均极显著( $P < 0.01$ )低于整草、长草和短草饲料,后肠道 NDF 消化占总消化量的比率粉草饲料明显( $P < 0.05$ )高于其他 3 种饲料(表4)。Tafaj 等<sup>[11]</sup>试验得出,限量饲喂粉碎干草和高比例精料组成的饲料时,羊的 NDF 表观消化率下降 9.00%。Lewis<sup>[6]</sup>等饲喂不同精粗比饲料的试验结果显示,盲肠中消化的 NDF 占总消化量的 13.00%~19.00%。孙海洲等<sup>[5]</sup>试验结果说明,在大肠消失的 NDF 占总消失量的 31.22%。本试验结果表明,由于粉草饲料通过瘤胃的速度加快,NDF 在瘤胃的降解减少,尽管粉草饲料的后肠道 NDF 消化增加对回肠 NDF 消化率降低有所补偿,但 NDF 全消化道的表观消化率仍然最低。

### 2.5 青干草颗粒度对 ADF 消化的影响

各组全消化道 ADF 表观消化率相近(表5)。粉草饲料回肠 ADF 消化量最低,占总消化量的比率

表3 青干草颗粒度对 CP 消化的影响

Table 3 Influence of hay particle size on apparent CP digestion of sheep

项 目		整草	长草	短草	粉草
全消化道	总消化量/(g d <sup>-1</sup> )	73.83 ±1.33	74.95 ±0.74	74.39 ±0.67	73.78 ±1.09
	消化率/ %	73.14 ±1.32	74.25 ±0.73	73.69 ±0.67	73.09 ±1.08
回肠末端	消化量/(g d <sup>-1</sup> )	62.83 ±0.39 A	63.73 ±1.12 A	63.50 ±0.63 A	59.19 ±0.58 B
	消化率/ %	62.25 ±0.38 A	62.58 ±1.11 A	62.91 ±0.62 A	58.64 ±0.57 B
	占总消化量/ %	85.13 ±1.59 a	84.28 ±1.71 a	85.37 ±1.36 a	80.24 ±1.38 b
后肠道	消化量/(g d <sup>-1</sup> )	10.99 ±1.35 b	11.78 ±1.34 b	10.89 ±1.09 b	14.59 ±1.20 a
	消化率/ %	10.89 ±1.34 b	11.67 ±1.33 b	10.78 ±1.08 b	14.45 ±1.19 a
	占总消化量/ %	14.89 ±1.59 b	15.72 ±1.71 b	14.63 ±1.36 b	19.76 ±1.38 a

注:同行数据小写字母间不同为差异显著( $P < 0.05$ );大写字母间不同为差异极显著( $P < 0.01$ )。下同。

表4 青干草颗粒度对 NDF 消化的影响

Table 4 Influence of hay particle size on apparent NDF digestion of sheep

项 目		整草	长草	短草	粉草
全消化道	总消化量/(g d <sup>-1</sup> )	154.22 ±3.45 ab	157.33 ±2.38 a	150.54 ±3.08 ac	148.96 ±3.47 c
	消化率/ %	53.60 ±1.20 ab	54.68 ±0.83 a	52.33 ±1.07 bc	51.78 ±1.21 c
回肠末端	消化量/(g d <sup>-1</sup> )	115.67 ±0.78 abA	118.52 ±3.56 aA	113.94 ±3.50 bA	107.27 ±4.11 cB
	消化率/ %	40.21 ±0.27 abA	41.19 ±1.34 aA	39.60 ±1.22 bA	37.29 ±1.43 cB
	占总消化量/ %	75.03 ±1.56 a	75.36 ±2.99 a	75.69 ±2.02 a	72.00 ±1.66 b
后肠道	消化量/(g d <sup>-1</sup> )	38.55 ±3.19	38.81 ±5.14	36.60 ±3.23	41.69 ±2.34
	消化率/ %	13.40 ±1.11	13.49 ±1.79	12.72 ±1.21	14.49 ±0.81
	占总消化量/ %	24.97 ±1.56 b	24.64 ±2.99 b	24.31 ±2.02 b	28.00 ±1.66 a

表5 青干草颗粒度对 ADF 消化的影响

Table 5 Influence of hay particle size on apparent ADF digestion of sheep

项 目		整草	长草	短草	粉草
全消化道	总消化量/(g d <sup>-1</sup> )	89.38 ±0.79	88.25 ±2.31	86.62 ±1.35	87.30 ±1.98
	消化率/ %	52.03 ±0.46	51.38 ±1.34	50.43 ±0.79	50.82 ±1.15
回肠末端	消化量/(g d <sup>-1</sup> )	69.94 ±1.68 a	68.37 ±2.52 ab	67.37 ±1.21 bc	65.39 ±1.20 c
	消化率/ %	40.71 ±0.98 a	39.80 ±1.47 ab	39.22 ±0.70 bc	38.07 ±0.70 c
	占总消化量/ %	78.24 ±1.40 A	77.47 ±1.64 A	77.77 ±0.78 A	74.92 ±1.65 B
后肠道	消化量/(g d <sup>-1</sup> )	19.44 ±1.16 b	19.88 ±1.40 b	19.25 ±1.76 b	21.91 ±1.81 a
	消化率/ %	11.32 ±0.68 b	11.57 ±0.81 b	11.21 ±0.44 b	12.76 ±1.06 a
	占总消化量/ %	21.76 ±1.40 B	22.53 ±1.64 B	22.23 ±0.78 B	25.08 ±1.65 A

粉草饲粮极显著( $P < 0.01$ )低于整草、长草和短草饲粮。后肠道 ADF 消化量和消化率粉草饲粮显著( $P < 0.05$ )高于其他 3 种饲粮,占总消化量的比率也极显著( $P < 0.01$ )高于其他 3 种饲粮。孙海洲等<sup>[5]</sup>试验,大肠 ADF 消失占总消失量的比率为 30.00%。Tafaj 等<sup>[11]</sup>试验,自由采食时,奶牛的粉草饲粮的 ADF 表观消化率比长草和短草饲粮分别

低 7.06%和 12.74%。Rode 等<sup>[10]</sup>指出奶牛饲喂粉草饲粮时,饲粮 ADF 的瘤胃消失率分别比长草和短草饲粮低 55.00%和 54.49%,尽管有瘤胃后消化道的补偿消化,但 ADF 全消化道消化率仍比长草和短草饲粮分别低 34.60%和 39.55%。而在本研究用羊进行的限定采食量试验,粉草饲粮的 ADF 表观消化率降幅较小。饲喂粉草饲粮时,饲料在瘤胃停留

时间缩短,会有较多的 ADF 逃避瘤胃降解,进入后肠道,在纤维分解菌的作用下分解产生 VFA,被吸收利用,由于后肠道的“补偿消化作用”,减小了 ADF 表观消化率的降低幅度<sup>[17]</sup>。

## 2.6 青干草颗粒度对淀粉消化的影响

本试验结果,整草、长草、短草和粉草饲粮全消化道淀粉的消化率分别为 98.35%、98.50%、98.80%和 98.97%,回肠淀粉消化率分别为 98.03%、98.23%、98.37%和 98.59%,占总消化量的 99.68%、99.72%、99.57%和 99.62%,后肠道消化仅占 0.32%、0.28%、0.43%和 0.38%,说明淀粉主要在胃和小肠消化。在本试验条件下(淀粉进食量 165.32 g/d),青干草的颗粒度并未影响饲粮中淀粉的消化。

## 3 结论

在限定采食量条件下,青干草经过整草和长铡、短铡、粉碎的机械加工后,不同颗粒度对饲粮养分的全消化道表观消化率并未产生明显影响,而青干草颗粒度过小(即粉碎)会降低饲粮养分在瘤胃和小肠的消化,饲粮养分在后肠道的消化则补偿性增加。

## 参 考 文 献

- [1] Barcroft J, McAnilly R A, Phillipson A T. Absorption of volatile acids from the alimentary tract of the sheep and other animals[J]. *J Exp Biol*, 1944, 20: 120-129
- [2] McDonald I W. The absorption of ammonia of from the rumen of sheep[J]. *Biochem J*, 1948, 42: 584-587
- [3] Hoover W H. Digestion and absorption in the hindgut of ruminants[J]. *J Anim Sci*, 1978, 46: 1789-1799
- [4] Ulyatt M J, Dellow D W, Reid C S W, et al. Structure and function of the large intestine of ruminants[A]. In: McDonald I W, Warner A I C, eds. *Digestion and Metabolism in the Ruminant* [C]. New South Wales: The University of New England Publishing Unit, 1975. 118-133
- [5] 孙海洲, 卢德勋, 赵秀英, 等. 在饲喂基础日粮条件下绵羊消化道内不同部位的淀粉消化和利用规律[J]. *内蒙古畜牧科学*, 2000, 21(1): 6-10
- [6] Lewis S M, Dehority B A. Microbiology and ration digestibility in the hindgut of the ovine[J]. *Appl Environ Microbiol*, 1985, 50: 356-363
- [7] DeGregorio R M, Tucker R E, Mitchell Jr G E, et al. Carbohydrate fermentation in the large intestine of lambs[J]. *J Anim Sci*, 1982, 54: 855-862
- [8] rskov E R. Starch digestion and utilization in ruminants[J]. *J Anim Sci*, 1986, 63: 1624-1633
- [9] Siciliano-Jones J, Murphy M R. Nutrient digestion in the large intestine as influenced by forage to concentrate ratio and forage physical form[J]. *J Dairy Sci*, 1989, 72: 471-484
- [10] Rode L M, Weakley D C, Satter L D. Effect of forage amount and partical size in diets of lactating dairy cows on site of digestion and microbial protien synthesis[J]. *Can J Anim Sci*, 1985, 65: 101-111
- [11] Tafaj M, Steingass H, Drochenr W. Influence of hay partical size at different concentrate and feeding levels on digestive processes and feed intake in ruminants. 2. passage, digestibility and feed intake[J]. *Arch Anim Nutr*, 2001, 51: 243-259
- [12] NRC. *Nutrient Requirements of Sheep* [M]. 5th revised edition. Washington DC: National Academy of Sciences, 1975. 49-50
- [13] 杨胜. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:北京农业大学出版社, 1993. 16-63
- [14] Xiong Y, Bartle S J, Preston R L. Improved enzymatic method to measure processing effects and starch availability in sorghum grain[J]. *J Anim Sci*, 1990, 68: 3861-3870
- [15] 宁开桂. 实用饲料分析手册[M]. 北京:中国农业科技出版社, 1993. 42-43
- [16] 王钦, 任继周, 李峻成, 等. 不同日粮养分在绵羊体内消化量的研究[J]. *中国畜牧杂志*, 2003, 39(4): 9-11
- [17] Beever D E, Osbourne D F, Cammell S B, et al. The effect of grinding and pelleting on digestion of Italian ryegrass and timothy by sheep[J]. *Br J Nutr*, 1981, 46: 357-370