

# 苜蓿干草粒度对山羊采食行为、瘤胃 pH 和瘤胃内养分降解动力学的影响

赵向辉 张 涛 徐 明 姚军虎\*

(西北农林科技大学动物科技学院,杨凌 712100)

**摘 要:** 本试验旨在研究苜蓿干草粒度对山羊采食行为、瘤胃 pH 和瘤胃内养分降解动力学的影响。以 4 只体重为  $(40.0 \pm 2.2)$  kg 安装瘤胃瘘管的成年山羊为试验动物,采用  $4 \times 4$  拉丁方设计,饲喂 4 种不同苜蓿干草粒度的饲料。结果表明,增加苜蓿干草粒度,改变了饲料的颗粒分布,提高了饲料的物理有效纤维含量,提高了瘤胃平均 pH,并使 pH 低于 6.0 和 5.6 的持续时间分别降低了 13.8 和 3.2 h/d,但降低了干物质采食量。随着苜蓿干草粒度的增加,苜蓿干草中性洗涤纤维在瘤胃内的有效降解率由 22.61% 线性增加至 27.74%。饲喂过短的苜蓿干草,趋向于提高精料干物质在瘤胃内的降解速率和有效降解率 ( $P < 0.10$ )。结果表明,增加苜蓿干草粒度,能够改善瘤胃 pH,缓解亚瘤胃酸中毒,提高纤维有效利用率,但过大会降低干物质采食量。

**关键词:** 山羊;苜蓿干草粒度;物理有效纤维;采食行为;瘤胃 pH;降解动力学参数

中图分类号: S827

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2010)05-1293-08

临床和亚临床瘤胃酸中毒是反刍动物生产中常见的营养代谢疾病。饲料中精料过多,粗饲料不足,以致瘤胃 pH 较低,是诱导此病发生的主要原因<sup>[1]</sup>。因此,反刍动物需要足够的粗饲料,以刺激咀嚼和维持瘤胃健康。NRC(2001)<sup>[2]</sup> 建议,以玉米(或苜蓿)青贮、干粉碎玉米为基础饲料时,中性洗涤纤维(neutral detergent fiber, NDF)含量不应低于 25%,来源于粗饲料的 NDF 不应低于 19%,然而上述建议并未涉及到粗饲料的其他种类(如苜蓿干草)和长度。Mertens<sup>[3]</sup> 认为,只有达到一定长度的 NDF 才能刺激动物咀嚼,并将这部分纤维称之为物理有效中性洗涤纤维(physically effective NDF, peNDF)。近几年关于饲料粒度或饲料 peNDF 含量对动物咀嚼活动、瘤胃发酵和养分消化率的影响已有较多研究,但结论尚不一致。一些研究认为,增加饲料粒度可刺激动物咀嚼,改善瘤胃 pH<sup>[4-5]</sup>,但也有研究发现,增加饲料粒度虽可增加咀嚼活动,但不影响瘤胃 pH<sup>[6-7]</sup>。Soita 等<sup>[8]</sup> 报道,增加大麦青贮粒度降低了养分的全消化道消化率,而 Yang 等<sup>[9]</sup> 却观察到了相反的结果。此外,上述研究是针对以青贮大麦或玉米为主要粗饲料的奶牛进行的,关于苜

蓿干草和山羊在这方面的研究则鲜有报道。因此,本试验研究苜蓿干草粒度对山羊采食行为、瘤胃 pH 和瘤胃内养分降解动力学参数的影响,为山羊饲料配合和高效饲养提供理论依据。

## 1 材料与与方法

### 1.1 试验设计与饲料组成

选用 4 只体重为  $(40.0 \pm 2.2)$  kg 安装瘤胃瘘管的健康成年山羊作为试验动物,采用  $4 \times 4$  拉丁方试验设计。试验羊饲养于代谢笼中( $0.75 \text{ m} \times 1.50 \text{ m}$ ),全天光照,日饲 2 次(08:00 和 20:00)混合饲料,自由饮水。

苜蓿干草通过铡草机和粉碎机切割成 20(切短)和 4 mm(粉碎)左右的长度。试验饲料精粗比为 45:55,其中粗饲料由切短和粉碎苜蓿干草按照不同比例组成:7:48(短)、23:32(中短)、39:16(中长)、55:0(长)(表 1)。所有饲料按照 NRC(1981)<sup>[10]</sup> 的推荐标准设计,营养成分满足或超过体重 40 kg 山羊的需要量。每期试验 25 d,其中适应期 14 d,样品收集期 11 d。每期试验结束后立即转入下期试验。

收稿日期:2010-04-08

基金项目:陕西省“13115”科技创新工程重大科技专项(2009ZDKG-18),农业行业公益性项目(nyhyzx07-037),陕西省农业攻关项目(2009K01-02)

作者简介:赵向辉(1983—),男,河南商丘人,博士研究生,主要从事反刍动物营养研究。E-mail: zhaohx001@163.com

\* 通讯作者:姚军虎,教授,博士生导师,E-mail: yaojunhu2008@nwsuaf.edu.cn

表1 饲料组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of diets (DM basis)

%

项目 Items	苜蓿干草粒度 Alfalfa hay particle size				SEM	P 值 P-value
	短 Short	中短 Medium short	中长 Medium long	长 Long		
切短苜蓿干草 Chopped alfalfa hay	7.00	23.00	39.00	55.00		
粉碎苜蓿干草 Ground alfalfa hay	48.00	32.00	16.00			
精料补充料 Concentrate supplement	45.00	45.00	45.00	45.00		
营养水平 Nutrient levels						
干物质 DM	89.43	89.39	89.43	89.49	0.08	0.97
有机物质 OM	92.92	92.96	92.95	93.04	0.03	0.50
粗蛋白质 CP	14.50	14.61	14.64	14.70	0.04	0.33
中性洗涤纤维 NDF	31.47	31.88	32.58	32.51	0.41	0.64
粗饲料源中性洗涤纤维 Forage NDF	26.10	26.44	26.78	26.67	0.21	0.75
酸性洗涤纤维 ADF	23.40	23.06	23.46	23.15	0.20	0.91
粗脂肪 EE	1.97	1.92	1.90	1.87	0.06	<0.01
非纤维性碳水化合物 Non-fiber carbohydrate	44.98	44.55	43.83	43.96	0.41	0.80

精料补充料包含 Concentrate supplement contained: 玉米 corn 89.07%, 豆粕 soybean meal 8.44%, 石粉 limestone 0.40%, CaHPO<sub>4</sub> 0.49%, NaCl 0.60%, 预混料 premix 1%; 预混料为每千克全价料提供 The premix provided per kg of diet: 烟酸 niacin 450 mg, Mn 600 mg, Zn 950 mg, Fe 430 mg, Cu 650 mg, Se 30 mg, I 45 mg, Co 20 mg, VE 800 mg, VD 45 000 IU, VA 120 000 IU。

## 1.2 测定指标与方法

### 1.2.1 饲料样品化学组成及颗粒分布

样品采集期间,记录饲料供应量和剩余量并取样。精料每天收集1次,按期混合用于分析化学组成。苜蓿干草和混合饲料每3d收集1次分析颗粒分布,之后按期混合用以分析化学组成。剩余料每天收集并混合,最后1d分析颗粒分布。采用3个筛层(19.0、8.0和1.18mm)和一个筛底的宾夕法尼亚筛测定苜蓿干草、混合饲料和剩余饲料的颗粒分布<sup>[11]</sup>。饲料的物理有效因子(physically effective factor, pef) pef<sub>8.0</sub>和 pef<sub>1.18</sub>分别为大于8.0和1.18mm的颗粒所占的DM比例, peNDF<sub>8.0</sub>和 peNDF<sub>1.18</sub>的含量分别由相应的 pef 乘以饲料的NDF含量计算得出<sup>[5]</sup>。采用常规方法分析饲料原料中的DM、OM、CP、NDF、ADF以及EE含量。非纤维性碳水化合物 = OM - (CP + NDF + EE)。

### 1.2.2 瘤胃 pH

试验期的18~19d,采用瘤胃pH监测系统对瘤胃pH进行24h动态监测。瘤胃pH监测系统由工业电极(IP-600-10, JENCO, USA)、pH变送器(691, JENCO, USA)和记录器组成,其中数据记录器与电脑相连。瘤胃pH数据每5s记录1次,储存在记录器中,用以分析平均pH和每天低于6.0和5.6的持续时间。

### 1.2.3 采食行为

根据各筛层择食指数(sorting index, SI)判断动物的采食行为:  $SI = 100 \times$  各筛层饲料的实际采

食量/各筛层饲料的预计采食量, SI 等于100,表示动物不挑食,大于100表示喜食,小于100表示厌食<sup>[12]</sup>。

### 1.2.4 原位法测定瘤胃内饲料的降解动力学参数

选用300目孔径的尼龙布,制成长×宽=10cm×6cm的尼龙袋。苜蓿干草和精饲料粉碎过1mm筛。称取约2g粗饲料和3g精饲料样品放入不同尼龙袋中,系于2根长约25cm的长线上,其中精、粗饲料线上各放有14个尼龙袋。试验期的第22~25天,将尼龙袋于晨饲前放入瘤胃腹囊部,之后分别在2、4、8、16、24、36、48h后取出一对精饲料尼龙袋(2个平行),在4、8、16、24、36、48、72h后取出一对粗饲料尼龙袋(2个平行),自来水冲洗至无浑浊物。0时间的尼龙袋在常温的自来水中浸泡30min,用以校正清洗时溶解和细小颗粒的损失。尼龙袋70℃烘至恒重,用以分析剩余物的DM和NDF含量。

采用Φrskov等<sup>[13]</sup>的降解模型估计苜蓿干草和精饲料DM的瘤胃降解参数:

$$P = a + b(1 - e^{-kt})$$

式中:  $t$  为培养时间(h),  $P$  为  $t$  时间样品消失率(%),  $a$  为快速降解部分(%),  $b$  为慢速降解部分(%),  $k$  为慢速降解部分的降解速率(%/h)。

采用Mertens等<sup>[14]</sup>的降解模型估计苜蓿干草NDF的瘤胃降解参数:

$$\text{当 } 0 < t < L \text{ 时, } R = b + \text{INDF};$$

$$\text{当 } t > L \text{ 时, } R = b \times e^{-k(t-L)} + \text{INDF}.$$

式中:  $t$  为培养时间(h),  $b$  为慢速降解部分

(%),  $R$  为  $t$  时间的剩余率(%),  $k$  为慢速降解部分的降解速率(%/h),  $L$  为延迟时间(h), INDF 为不可降解的中性洗涤纤维(%).

利用 SAS 分析软件<sup>[15]</sup>中的 NLIN 程序计算出  $a$ 、 $b$ 、 $k$ 、 $L$  和 INDF 的值。

有效降解率采用模型:

$$EDP = a + [bk/(c+k)]e^{(-cL)}$$

式中: $c$  为外流速率( $h^{-1}$ ), 本研究中假定  $c$  值为  $0.03 h^{-1}$ 。估计苜蓿干草和精料 DM 的有效降解率时  $L$  为 0。

### 1.3 数据分析

采用 SAS 分析软件<sup>[15]</sup>中的 GLM 模型对数据进行统计分析, 显著水平设置为  $P \leq 0.05$ ,  $0.05 < P \leq 0.10$  时, 认为各处理间存在显著差异性

的趋势。所有粗饲料长度的影响均进行线性、二次曲线和三次曲线变化分析。

## 2 结果

### 2.1 饲料颗粒分布和物理有效纤维

改变苜蓿干草的物理形态(切短和粉碎)显著影响其在宾夕法尼亚筛上的颗粒分布(表 2)。与粉碎相比,切短增加苜蓿干草在 19.0 和 8.0 mm 筛上的 DM 比例,因而具有较高的  $pef_{8.0}$ 。粉碎苜蓿干草虽增加 1.18 mm 筛上的 DM 比例,但过多颗粒仍通过了 1.18 mm 筛,致其  $pef_{1.18}$  显著低于切短苜蓿干草。增加苜蓿干草切割长度(4~20 mm)显著增加  $peNDF_{8.0}$  和  $peNDF_{1.18}$  的含量。

表 2 苜蓿干草的颗粒分布(干物质基础)

Table 2 Particle size distribution of alfalfa hay (DM basis)

项目 Items	苜蓿干草 Alfalfa hay		SEM	P 值 P-value	
	切短 Chopped	粉碎 Ground			
颗粒分布(各筛层 DM 占苜蓿干草总 DM 的比例)					
Particle size distribution (the proportion of DM retained on sieves)/%					
筛层 Sieves	19.0 mm	29.69	0.00	5.64	<0.01
	8.0 mm	32.25	2.02	5.73	<0.01
	1.18 mm	27.21	44.52	3.36	<0.01
筛底 Pan		10.85	53.46	8.08	<0.01
$pef_{8.0}$		0.62	0.02	0.11	<0.01
$pef_{1.18}$		0.89	0.47	0.08	<0.01
$peNDF_{8.0}$		29.96	0.97	5.50	<0.01
$peNDF_{1.18}$		43.09	22.43	3.93	<0.01

切断和粉碎苜蓿干草的 NDF 含量分别为 48.33% 和 48.24%。The contents of NDF were 48.33% and 48.24% for chopped alfalfa hay and ground alfalfa hay, respectively.

各处理饲料的颗粒分布如表 3 所示。增加苜蓿干草粒度,饲料分布在 19.0 和 8.0 mm 筛上的 DM 比例线性提高,滞留在筛底上的 DM 比例线性降

低,结果  $pef_{8.0}$  和  $pef_{1.18}$  分别由 0.06 和 0.48 增加至 0.36 和 0.61。提高苜蓿干草粒度,线性增加饲料的  $peNDF_{8.0}$  和  $peNDF_{1.18}$  含量。

表 3 饲料的颗粒分布(干物质基础)

Table 3 Particle size distribution of diets (DM basis)

项目 Items	苜蓿干草粒度 Alfalfa hay particle size				SEM	P 值 P-value			
	短 Short	中短 Moderate short	中长 Moderate long	长 Long		线性 Linear	二次 Quadratic	三次 Cubic	
颗粒分布(各筛层 DM 占饲料总 DM 的比例)									
Particle size distribution (the proportion of DM retained on sieves)/%									
筛层 Sieves	19.0 mm	0.71	4.24	9.65	16.47	1.81	<0.01	0.01	0.83
	8.0 mm	5.39	12.63	16.88	19.52	1.64	<0.01	0.01	0.65
	1.18 mm	42.25	35.32	29.23	25.31	2.03	<0.01	0.34	0.85
筛底 Pan		51.65	47.81	44.24	38.70	1.65	<0.01	0.66	0.80
$pef_{8.0}$		0.06	0.17	0.27	0.36	0.03	<0.01	0.36	0.77
$pef_{1.18}$		0.48	0.52	0.56	0.61	0.02	<0.01	0.66	0.80
$peNDF_{8.0}$		1.92	5.39	8.64	11.74	1.11	<0.01	0.58	0.54
$peNDF_{1.18}$		15.17	16.66	18.16	19.99	0.69	<0.01	0.88	0.08

## 2.2 采食量和采食行为

动物的采食量和采食行为如表4所示。增加苜蓿干草粒度线性降低山羊的干物质采食量(dry

matter intake, DMI)。4个处理筛底层饲料的实际采食量均低于预测值( $SI < 100$ ),最小值出现在长处理组。

表4 苜蓿干草粒度对山羊干物质采食量和采食行为的影响

Table 4 Effects of alfalfa hay particle size on dry matter intake and eating behavior of goats

项目 Items	苜蓿干草粒度 Alfalfa hay particle size					P值 P-value			
	短 Short	中短 Moderate short	中长 Moderate long	长 Long	SEM	线性 Linear	二次 Quadratic	三次 Cubic	
干物质采食量 DMI/g	1 088.6	1 035.9	1 063.3	933.8	40.6	0.05	0.38	0.24	
剩余料 Orts/%	6.35	4.33	7.79	8.14	0.51	<0.01	0.01	<0.01	
择食指数 SI									
筛层 Sieves	19.0 mm	106.81	104.49	108.46	108.88	0.59	<0.01	0.01	<0.01
	8.0 mm	106.81	104.49	108.46	108.88	0.59	<0.01	0.01	<0.01
	1.18 mm	105.74	104.46	107.08	104.56	0.44	0.61	0.15	<0.01
筛底 Pan		94.46	95.29	90.25	88.82	0.82	<0.01	0.08	<0.01

## 2.3 瘤胃 pH

瘤胃 pH 结果如表5所示。增加苜蓿干草粒度

线性提高瘤胃平均 pH,并使 pH 低于 6.0 和 5.6 的持续时间分别降低 13.8 和 3.2 h/d。

表5 苜蓿干草粒度对山羊瘤胃 pH 的影响

Table 5 Effects of alfalfa hay particle size on ruminal pH of goats

项目 Items	苜蓿干草粒度 Alfalfa hay particle size					P值 P-value			
	短 Short	中短 Moderate short	中长 Moderate long	长 Long	SEM	线性 Linear	二次 Quadratic	三次 Cubic	
平均值 Means		5.90	5.98	6.13	6.32	0.05	<0.01	0.30	0.86
持续时间 Duration/(h/d)	pH<6.0	16.44	14.75	7.31	2.60	1.58	<0.01	0.23	0.15
	pH<5.6	2.29	3.19	0.57	0.02	0.42	<0.01	0.13	0.02

## 2.4 瘤胃内养分的降解动力学参数

瘤胃内苜蓿干草 DM 和 NDF 的降解动力学参数结果如表6所示。改变苜蓿干草粒度,不影响苜蓿干草 DM 的快速降解部分、慢速降解部分以及降解速率,但二次曲线型影响其有效降解率,最高值出现在中长处理。随着饲料粒度的增加,苜蓿干草 NDF 的不可降解部分线性降低 23%,有效降解率线性增加 23%,慢速降解部分和降解速率不受影响。

瘤胃内精饲料 DM 降解动力学参数的结果如表7所示。增加苜蓿干草粒度,线性提高了精饲料 DM 的慢速降解部分,并线性或趋向于线性降低其快速降解部分、降解速率( $P = 0.07$ )和有效降解率( $P = 0.09$ )。对比4个处理,最高降解速率和有效降解率均出现在短处理。

## 3 讨论

### 3.1 饲料颗粒分布和物理有效纤维

饲料的颗粒分布与粒度有关,理论切割长度是影响粒度的主要因素。在 Einarson 等<sup>[16]</sup>的研究中,大麦青贮的理论切割长度为 10 和 19 mm,  $pef_{s,0}$  分别为 0.78 和 0.95。Yang 等<sup>[7]</sup>将大麦青贮的理论切割长度降低为 4.8 和 9.5 mm,  $pef_{s,0}$  则分别减少为 0.68 和 0.84。此外颗粒分布还受切割机类型、植物种类及其成熟度等影响<sup>[7]</sup>。在 Yang 等<sup>[5]</sup>和 Bhandari 等<sup>[17]</sup>的研究中,苜蓿青贮的理论切割长度均为 19 mm,但  $pef_{s,0}$  则分别为 0.72 和 0.84。本研究中,切短和粉碎苜蓿干草的  $pef_{s,0}$  和  $pef_{1.18}$  与 Teimouri Yansari 等<sup>[18]</sup>报道的结果类似,但与 Beauchemin 等<sup>[4]</sup>研究中粉碎苜蓿干草的颗粒分布不

一致,基于上述理论,出现这种差异的原因不难解释。

表 6 苜蓿干草粒度对 DM 和 NDF 瘤胃降解动力学参数的影响

Table 6 Effects of alfalfa hay particle size on DM and NDF digestion kinetics

%

项目 Items	苜蓿干草粒度 Alfalfa hay particle size				SEM	P 值 P-value		
	短 Short	中短 Moderate short	中长 Moderate long	长 Long		线性 Linear	二次 Quadratic	三次 Cubic
干物质 DM								
a	26.20	26.34	27.68	25.84	1.26	0.98	0.62	0.63
b	41.87	41.87	43.45	45.65	1.15	0.20	0.60	0.92
k/(%/h)	5.24	6.19	5.33	4.60	0.38	0.29	0.17	0.44
EDP	52.45	53.77	54.64	53.15	0.93	0.17	0.05	0.43
中性洗涤纤维 NDF								
b	43.50	40.79	42.82	52.16	2.09	0.12	0.13	0.87
INDF	54.73	56.91	53.34	43.99	1.97	0.04	0.11	0.99
k/(%/h)	4.26	6.32	5.41	5.36	0.50	0.63	0.36	0.45
L/h	5.19	4.85	4.83	5.26	0.61	0.97	0.76	0.98
EDP	22.61	26.43	26.86	27.74	0.92	0.03	0.27	0.50

表 7 苜蓿干草粒度对精料 DM 瘤胃降解动力学参数的影响

Table 7 Effects of alfalfa hay particle size on DM digestion kinetics of concentrate

%

项目 Items	苜蓿干草粒度 Alfalfa hay particle size				SEM	P 值 P-value		
	短 Short	中短 Moderate short	中长 Moderate long	长 Long		线性 Linear	二次 Quadratic	三次 Cubic
a	20.52	22.00	18.20	17.68	0.62	0.01	0.24	0.02
b	75.23	76.45	81.03	81.82	1.15	0.02	0.91	0.41
k/(%/h)	7.03	4.66	5.40	4.85	0.38	0.07	0.17	0.14
EDP	72.44	67.77	69.78	68.61	1.02	0.09	0.15	0.09

### 3.2 采食量和采食行为

研究表明,降低饲料粒度能够显著增加其容重、比重和瘤胃外流速度,减少瘤胃滞留时间,进而增加 DMI<sup>[8,18-19]</sup>,本研究结果与上述报道一致。

动物的择食行为与粗饲料的质量、粒度以及饲料中粗饲料的含量有关<sup>[20-21]</sup>。本研究中筛底层饲料的实际采食量小于预测值,表明山羊不喜欢采食粒度较小的饲料,这与 Beauchemin 等<sup>[22]</sup>的报道一致,但与 Calberry 等<sup>[23]</sup>的报道相反。后者发现,饲喂苜蓿干草基础饲料时,奶牛喜欢采食较小粒度的饲料。出现这种差异可能与饲料的 peNDF 含量有关<sup>[22]</sup>。Calberry 等<sup>[23]</sup>研究中饲料 peNDF<sub>8.0</sub> 的范围为 20.1% ~ 23.3%,高于本研究中的 1.92% ~ 11.74%。此外,本研究中山羊不喜食较小粒度的饲料还可能与自身的采食习惯和生理特点有关。Ouédrago 等<sup>[24]</sup>认为,山羊部分或全部拒绝采食较

小粒度的饲料,原因在于细小颗粒刺激了山羊的呼吸道,使其产生了较强的敏感性。

### 3.3 瘤胃 pH

当前研究中增加苜蓿干草粒度显著降低了瘤胃 pH 小于 6.0 和 5.6 的持续时间,与 Beauchemin 等<sup>[4]</sup>的报道一致。瘤胃 pH 是瘤胃中发酵酸产生,被唾液中和以及从瘤胃移走三者平衡的结果<sup>[25]</sup>,因此受酸产生量和唾液分泌量的影响较大。本研究中,精粗比固定,唾液分泌量是影响瘤胃 pH 变化的主要因素。反刍动物的唾液分泌量与咀嚼时间紧密相关。饲料中的 peNDF 含量影响动物的咀嚼活动<sup>[3]</sup>。本研究结果显示,瘤胃 pH 与咀嚼活动的变化一致(数据未列出),即增加苜蓿干草粒度,提高了饲料 peNDF 含量,刺激了动物的咀嚼活动,进而增加了唾液分泌量,降低了 pH 小于 6.0 和 5.6 的持续时间,同时提高了瘤胃平均 pH。动物发生亚瘤

胃酸中毒时瘤胃 pH 低于 5.6 和 6.0 的临界持续时间分别为 148~283 min/d 以及约 720 min/d<sup>[26]</sup>。据此标准,本研究中降低苜蓿干草粒度使短和中短处理的山羊处于亚瘤胃酸中毒状态。

### 3.3 瘤胃内养分的降解动力学参数

部分研究发现,改变粗饲料的切割长度,不影响其 DM 在瘤胃中的降解动力学参数<sup>[27-28]</sup>。本研究中增加苜蓿干草粒度不影响苜蓿干草 DM 在瘤胃中的快速降解部分、慢速降解部分以及降解速率,与上述报道一致,但二次曲线型提高了有效降解率,这可能与本试验中苜蓿干草的粒度范围较宽有关。

Fischer 等<sup>[28]</sup>报道,改变苜蓿青贮的粒度不影响 NDF 在瘤胃中的慢速降解部分、降解速率和延迟时间,本试验结果与此一致。Grant 等<sup>[29]</sup>通过体外系统研究了 pH 对瘤胃内粗饲料 NDF 降解动力学参数的影响,发现提高 pH(5.5~6.0)能够显著降低延迟时间(8.10~3.89 h),提高有效降解率(15.3%~20.5%)。本研究中增加苜蓿干草粒度显著提高了瘤胃 pH 和苜蓿干草 NDF 有效降解率,但不影响延迟时间,说明本研究中苜蓿干草 NDF 有效降解率的提高主要依赖于可降解部分(快速降解部分+慢速降解部分)的增加。长处理苜蓿干草 NDF 的慢速降解和不可降解部分分别为最高和最低,原因可能在于该组 pH 小于 6.0 的持续时间远低于其他 3 个组。Russell 等<sup>[30]</sup>报道,瘤胃 pH 低于 6.2 会降低纤维降解酶的活性,进而影响 NDF 的降解。

本研究中增加苜蓿干草粒度提高了精料 DM 在瘤胃中的慢速降解部分,但降低或趋向于降低快速降解部分、降解速率和有效降解率,与 Zebeli 等<sup>[31]</sup>的报道不一致,后者发现干草粒度不影响精料 DM 在瘤胃中的降解动力学参数。出现这种差异可能与本试验中短处理 pH 小于 6.0 的持续时间较长有关。Nagaraja 等<sup>[32]</sup>认为,动物处于亚瘤胃酸中毒状态时,瘤胃中的淀粉分解菌数量增加。因此,本试验中短处理较长的低 pH 持续时间可能增加了瘤胃淀粉分解菌的数量,进而导致较高的精料降解速率和降解率。

## 4 结 论

① 饲料颗粒分布受苜蓿干草粒度的影响。增加苜蓿干草粒度,显著提高了饲料分布在 19.0 和 8.0 mm 筛的 DM 比例,进而提高了饲料的 peNDF<sub>8.0</sub> 和 peNDF<sub>1.18</sub> 含量。

② 增加苜蓿干草粒度,降低了瘤胃 pH 小于

6.0 和 5.6 的持续时间,缓解了动物的亚瘤胃酸中毒,提高了纤维的有效降解率,但降低了 DMI。

### 参考文献:

- [1] KRAUSE K M, OETZEL G R. Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds: a review[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2006, 126:215-236.
- [2] NRC. Nutrient requirements of dairy cattle[S]. 7th ed. Washington, D. C.: National Academy Press, 2001.
- [3] MERTENS D. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80(7):1463-1481.
- [4] BEAUCHEMIN K A, YANG W Z, RODE L M. Effects of particle size of alfalfa-based dairy cow diets on chewing activity, ruminal fermentation, and milk production[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(2):630-643.
- [5] YANG W Z, BEAUCHEMIN K A. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: chewing and ruminal pH [J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(6):2826-2838.
- [6] KRAUSE K M, COMBS D K. Effects of forage particle size, forage source, and grain fermentability on performance and ruminal pH in midlactation cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(4):1382-1397.
- [7] 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.
- [8] SOITA H W, CHTISTENSEN D A, MCKINNON J J, et al. Effects of barley silage of different theoretical cut length on digestion kinetics in ruminants[J]. *Canadian Journal of Animal Science*, 2002, 82(2):207-213.
- [9] YANG W Z, BEAUCHEMIN K A. Effects of physically effective fiber on digestion and milk production by dairy cows fed diets based on corn silage [J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(3):1090-1098.
- [10] NRC. Nutrient requirements of goats[S]. Washington, D. C.: National Academy Press, 1981.
- [11] KONONOFF P J, HEINRICHS A J, BUCKMASTER D A. Modification of the Penn State forage and total mixed ration particle separator and the

- effects of moisture content on its measurements[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(5):1858-1863.
- [12] LEONARDI C, SHINNERS K J, AARMENTANO L E. Effect of different dietary geometric mean particle length and particle size distribution of oat silage on feeding behavior and productive performance of dairy cattle[J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(2):698-710.
- [13] ØRSKOV E R, MCDONALD I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage [J]. *The Journal of Agricultural Science*, 1979, 92:499-503.
- [14] MERTENS D R, LOFTEN J R. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*[J]. *Journal of Dairy Science*, 1980, 63(9):1437-1446.
- [15] SAS Institute. SAS 7 user's guide: statistics[CP/CD]. 7th ed. Cary, NC: SAS Inst. Inc., 1996.
- [16] EINARSON M S, PLAIZIER J C, WITTENBERG K M. Effects of barley silage chop length on productivity and rumen conditions of lactating dairy cows fed a total mixed ration[J]. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87(9):2987-2996.
- [17] BHANDARI S K, LI S, OMINSKI K H, et al. Effects of the chop lengths of alfalfa silage and oat silage on feed intake, milk production, feeding behavior, and rumen fermentation of dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2008, 91(5):1942-1958.
- [18] TEIMOURI YANSARI A, VALIZADEH R, NASERIAN A, et al. Effects of alfalfa particle size and specific gravity on chewing activity, digestibility, and performance of Holstein dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2004, 87(11):3912-3924.
- [19] KONONOFF P J, HEINRICHS A J, LEHMAN H A. The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(10):3343-3353.
- [20] LEONARDI C, ARMENTANO L E. Effect of quantity, quality, and length of alfalfa hay on selective consumption by dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(2):557-564.
- [21] DEVRIES T J, BEAUCHEMIN K A, VON KEYSERLINGK M A G. Dietary forage concentration affects the feed sorting behavior of lactating dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(12):5572-5579.
- [22] BEAUCHEMIN K A, YANG W Z. Effects of physically effective fiber on intake, chewing activity, and ruminal acidosis for dairy cows fed diets based on corn silage[J]. *Journal of Dairy Science*, 2005, 88(6):2117-2129.
- [23] CALBERRY J M, PLAIZIER J C, EINARSON M S, et al. Effects of replacing chopped alfalfa hay with alfalfa silage in a total mixed ration on production and rumen conditions of lactating dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 2003, 86(11):3611-3619.
- [24] OUÉDRAGO T, MORAND-FEHR P, HERVIEU J, et al. Effect of humidity and particle size on barley and beet pulps palatability in dairy goats[C]//Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes. Proceedings of the sixth international conference on goats, Zaragoza, Spain, CIHEAM, 1997:83-87.
- [25] ALLEN M. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber[J]. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80(7):1447-1462.
- [26] ALZAHAL O, KEBREAB E, FRANCE J, et al. A mathematical approach to predicting biological values from ruminal pH measurements[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(8):3777-3785.
- [27] COUDERC J J, REARTE D H, SCHROEDER G F, et al. Silage chop length and hay supplementation on milk yield, chewing activity, and ruminal digestion by dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2006, 89(9):3599-3608.
- [28] FISCHER J M, BUCHANAN-SMITH J G, CAMPBELL C, et al. Effects of forage particle size and long hay for cows fed total mixed rations based on alfalfa and corn[J]. *Journal of Dairy Science*, 1994, 77(1):217-229.
- [29] GRANT R J, WEIDNER S J. Digestion kinetics of fiber: influence of *in vitro* buffer pH varied within observed physiological range[J]. *Journal of Dairy Science*, 1992, 75(4):1060-1068.
- [30] 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.
- [31] ZEBELI Q M, TAJAJ M, WEBER I, et al. Effects of varying dietary forage particle size in two concentrate levels on chewing activity, ruminal mat characteristics, and passage in dairy cows[J]. *Journal of Dairy Science*, 2007, 90(4):1929-1942.
- [32] NAGARAJA T G, LECHTENBERG K F. Acidosis in feedlot cattle[J]. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 2007, 23(2):333-350.

## Effects of Alfalfa Hay Particle Size on Eating Behavior, Ruminal pH, and Nutrient Digestion Kinetics of Goats

ZHAO Xianghui ZHANG Tao XU Ming YAO Junhu\*

(College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The effects of alfalfa hay particle size of goat diets on eating behavior, ruminal pH, and nutrient digestion kinetics were investigated in the study. The experiment was designed as a  $4 \times 4$  Latin square using 4 goats [(40.0 ± 2.2) kg BW] with ruminal cannulas. Diets were chemically similar but varied in forage particle size. The results showed that increasing alfalfa hay particle size altered particle distribution of diets, increased physically effective fiber content of diets, but reduced dry matter intake. Increasing alfalfa hay particle size increased mean ruminal pH and reduced the duration in which pH was lower than 6.0 and 5.6 by 13.8 and 3.2 h/d, respectively. Effective ruminal disappearance of alfalfa hay NDF tended to be increased linearly from 22.61% to 27.74% with increasing forage particle size. Feeding short alfalfa hay tended to increase the disappearance rate and effective disappearance of concentrate DM in rumen ( $P < 0.10$ ). Goats sorted for long particles instead of short ones. This study indicates that increasing alfalfa hay particle size can improve ruminal pH, alleviate subacute ruminal acidosis, and increase fiber utilization. However, it can also reduce dry matter intake if the alfalfa hay is too long. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2010, 22(5): 1293-1300]

**Key words:** goat; alfalfa hay particle size; physically effective fiber; eating behavior; ruminal pH; digestion kinetic parameters