

外流速率实测与参考对羊常用饲料瘤胃有效降解率的影响

刘胜寒¹ 次仁曲珍² 张立² 党世彬¹ 莫放¹ 张微^{1*}

(1.中国农业大学动物科学技术学院,动物营养学国家重点实验室,北京 100193;

2.西藏自治区农牧科学院畜牧兽医研究所,绵羊改良研究室,拉萨 850009)

摘要: 本研究旨在测定半细毛羊6种常用饲料瘤胃外流速率,并分析外流速率实测值与普遍采用的参考值对所测饲料瘤胃有效降解率的影响。选用16只3周岁、健康状况良好、体重63~65 kg的云南半细毛羊公羊作为试验动物,其中4只装有永久性瘤胃瘘管。4只瘘管羊只用来测定铬标记饲料干物质回收率,12只非瘘管羊用来测定瘤胃外流速率。待测瘤胃外流速率的6种饲料分别为豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆和小麦秸秆。结果表明:1)采食豆粕、菜籽粕、玉米3种铬标记精饲料后粪中铬含量达到高峰的时间为24~28 h,采食鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆3种铬标记粗饲料后则为24~36 h。2)不同饲料之间瘤胃外流速率有差异,豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆的瘤胃外流速率分别为7.30%/h、7.49%/h、6.84%/h、5.02%/h、5.59%/h、3.97%/h。3)基于外流速率实测值与参考值计算所得6种饲料干物质、有机物和粗蛋白质有效降解率差异较大,且采用实测值计算所得数值全部低于采用参考值计算所得数值。由此可见,基于外流速率实测值计算所得瘤胃有效降解率与基于外流速率参考值计算所得瘤胃有效降解率差异较大,在利用瘤胃尼龙袋法测定饲料瘤胃有效降解率的实际研究工作中,建议对饲料瘤胃外流速率进行实测。

关键词: 瘤胃外流速率;实测值;有效降解率;瘤胃尼龙袋法;羊

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)05-2795-09

饲料的瘤胃降解特性是反刍动物饲料营养价值评价的重要内容,通常采用瘤胃尼龙袋法进行测定。瘤胃尼龙袋法是指将一定量、一定粒度的待测饲料装入一定规格的尼龙袋中,通过反刍动物永久性瘤胃瘘管投入到瘤胃中培养,经发酵一定时间后,将尼龙袋经瘤胃瘘管取出并测定饲料在各时间点的消失率,拟合动态降解方程,结合饲料外流速率,计算有效降解率的方法。

饲料瘤胃有效降解率的计算是基于其在瘤胃中的外流速率进行,因此瘤胃外流速率的测定至关重要。瘤胃外流速率是指单位时间内从瘤胃中

流出的固体或液体体积占瘤胃内容物体积的百分比,常用k表示,单位为%/h或h⁻¹。

颜品勋等^[1]早期测定了羊草、小麦秸秆、稻草、高粱青贮、苜蓿干草5种粗饲料在牛上的瘤胃外流速率,近年也有研究测定了羊草、小麦秸秆、苜蓿、地瓜秧和玉米秸在肉羊上的瘤胃外流速率^[2]。目前精料的瘤胃外流速率多引用Ørskov等^[3]的研究结果,在牛和羊上,涉及到饲料瘤胃外流速率的研究都是在引用和参考前人为数不多的试验结果,这显然不利于得出准确的瘤胃有效降解率,不利于推动反刍动物饲料营养价值评价精

收稿日期:2020-10-22

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-39)

作者简介:刘胜寒(1996—),男,山东泗水人,硕士研究生,动物营养与饲料科学专业。E-mail:2827191753@qq.com

*通信作者:张微,教授,博士生导师,E-mail:wzhang@cau.edu.cn

准化发展。一方面,饲料瘤胃外流速率受动物品种、饲料种类、温度、饲料颗粒细度、饲粮精粗比、饲喂水平等多种因素影响;另一方面,我国饲料种类良多,资源广泛,目前已有的外流速率测定工作显然是不足够的。

本研究采用瘤胃尼龙袋技术结合铬标记饲料法对豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆6种半细毛羊常用饲料的瘤胃外流速率进行测定,并用该实测值计算瘤胃有效降解率,然后与基于普遍采用的外流速率参考值所得的瘤胃有效降解率进行比较,旨在准确评价半细毛羊6种常用饲料瘤胃有效降解率,比较利用外流速率实测值与参考值对饲料瘤胃有效降解率的影响,推动反刍动物饲料营养价值评价工作更加精准。

1 材料与方法

1.1 试验材料

待测瘤胃外流速率的6种饲料分别为豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆和小麦秸秆,所有饲料粉碎过18目筛。

1.2 试验方法

1.2.1 试验动物及饲喂制度

本试验选用16只3周岁、健康状况良好、体重63~65 kg的云南半细毛羊公羊作为试验动物,其中4只装有永久性瘤胃瘘管,12只没有瘘管。4只瘘管羊只用来测定铬标记饲料干物质回收率,12只非瘘管羊用来测定瘤胃外流速率。将12只非瘘管羊随机分为3组,每组4只。

羊只所喂饲粮精粗比为3:7,营养水平为1.3倍NRC(2007)维持需要,每只羊每天饲喂精料480 g,大豆皮720 g,黑麦干草400 g,每天07:00和17:00分2次等量饲喂,先喂黑麦干草,后喂精料和大豆皮混合料。羊只单栏饲喂,自由饮水。饲粮组成及营养水平见表1。

1.2.2 铬标记饲料的制备与饲喂

铬标记饲料的制备参考《饲料生物学评定技术》^[4]中的方法进行。铬标记饲料中铬用量占待测饲料干物质的4%~14%。称取适量重铬酸盐溶于温水,将溶解后的重铬酸钾溶液倒入待测饲料中,搅拌均匀至稠粥状,加盖,置于恒温干燥箱内,100℃加热24 h。将烘干的铬标记饲料用自来水冲洗至水澄清。将洗净后的铬标记饲料放入盆中,加入适量蒸馏水,将饲料悬浮于水中,加入适

量抗坏血酸,搅拌均匀,使pH下降至4.0,静置12 h,恒温干燥箱内65℃烘干。

表1 饲粮组成及营养水平(干物质基础)
Table 1 Composition and nutrient levels of the diet (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
豆粕 Soybean meal	4.95
麦麸 Wheat bran	4.95
玉米 Corn	18.56
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.62
食盐 NaCl	0.31
矿物预混料 Mineral premix ¹⁾	0.15
维生素预混料 Vitamin premix ²⁾	0.15
小苏打 NaHCO ₃	0.31
大豆皮 Soybean hull	45.00
黑麦干草 Rye hay	25.00
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels	
代谢能 ME/(MJ/kg)	9.55
干物质 DM	95.81
粗蛋白质 CP	14.21
中性洗涤纤维 NDF	37.71
酸性洗涤纤维 ADF	23.48
钙 Ca	1.19
磷 P	0.37

1)每千克矿物质预混料含有 One kilogram of mineral premix contained the following: Cu 4 000~6 000 mg, Fe 54 000~66 000 mg, Zn 14 000~20 000 mg, Mn 22 000~28 000 mg, I 600~900 mg, Se 50~70 mg, Co 50~90 mg。

2)每千克维生素预混料含有 One kilogram of vitamin premix contained the following: VA 650 000~900 000 IU, VD 55 000~100 000 IU, VE≥2 000 IU。

铬标记饲料与基础饲粮混合均匀后投喂,饲喂量为65 g/只,确保羊只将铬标记饲料全部采食无剩余。

1.2.3 样品采集和制备

试验羊早上采食结束时记为0 h,分别于0、4、8、12、16、20、24、28、32、36、40、44、48、54、60、72、84、96、108、120 h直肠取粪样。粪样在65℃烘干粉碎,待下一步测定。

1.2.4 基于外流速率实测值和参考值的有效降解率的比较

分别使用外流速率参考值和实测值对菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅6种饲

料的干物质、有机物、粗蛋白质瘤胃有效降解率进行计算,比较二者的差异。精料外流速率参考值参考 Ørskov 等^[3],粗料外流速率参考值参考颜品勋等^[5]。

1.3 检测指标

1.3.1 铬标记饲料干物质回收率的测定

试验前进行铬标记饲料稳定性的测试,将待测饲料装入尼龙袋中并投放到瘤胃中培育 24 h,计算干物质回收率。尼龙袋规格为 6 cm×10 cm,孔径 300 目。称取精料 4.0 g 或粗料 2.5 g(精确到 0.001 g)装入尼龙袋中,每只羊 6 根管子,每根管子装 2 个袋子作为平行,6 根管子分别装 6 种饲料,4 只羊为 4 个重复。分别将 2 个装有待测饲料的尼龙袋口交叉夹于 1 根内径 3 mm、长 25 cm 半软塑料管的底端,用橡皮筋缠绕固定。尼龙袋于晨饲前用钳子一起送入瘤胃腹囊。

$$\text{干物质回收率}(\%) = \left[\frac{\text{瘤胃培养 24 h 后铬标记饲料残渣质量} \times \text{残渣干物质含量}}{\text{铬标记饲料质量} \times \text{铬标记饲料干物质含量}} \right] \times 100。$$

1.3.2 铬标记饲料粪中铬含量的测定

参考张丽英^[6]的方法,对粪样使用干法灰化前处理,称取粪样置于坩埚中,低温炭化至无烟后转入高温炉进行灰化,滴加盐酸溶液并煮沸,随后转移到容量瓶中定容摇匀待测,同时做空白试验。采用原子吸收光谱法测定粪样中铬含量,使用铬标准溶液[货号为 GBW(E)080257,购自北京世纪奥科生物技术有限公司]绘制标准曲线,使用日立 ZA-3000 原子吸收分光光度计测定吸光度值。

1.3.3 饲料瘤胃外流速率的计算

计算瘤胃外流速率的数学方程^[2]为:

$$C_t = C_0 e^{-kt}。$$

式中: C_0 为粪样中铬含量的最高值($\mu\text{g/g}$); C_t 为粪样中铬含量达到最高值以后各个时间点的含量值($\mu\text{g/g}$); k 为瘤胃外流速率($\%/h$); t 为在瘤胃中的消化时间(h)。

1.3.4 有效降解率的计算

饲料营养成分有效降解率^[4]计算公式:

$$ED = a + bc / (c + k)。$$

式中: ED 表示某营养成分的有效降解率($\%$); a 表示某营养成分的快速降解部分($\%$); b 表示某营养成分的慢速降解部分($\%$); c 表示 b 的降解速率($\%/h$); k 表示某营养成分的瘤胃外流速

率($\%/h$)。

1.4 数据统计分析

数据使用 Excel 2016 进行整理,并使用 Excel 2016 和 GraphpadPrism 8.4.1 进行线性拟合,有效降解率和相对误差使用 Excel 2016 进行计算。

2 结果与分析

2.1 铬标记饲料的干物质回收率

6 种铬标记饲料在瘤胃中培养 24 h 后的干物质回收率见表 2。6 种铬标记饲料干物质平均回收率为 72.32%,玉米的干物质回收率最低,为 45.92%,其他饲料均达到 75% 以上。6 种铬标记饲料干物质回收率的变异系数均小于 5%。

2.2 各时间点粪样中铬含量和饲料瘤胃外流速率

各时间点粪样中铬含量及其对应的指数方程和一次方程以及饲料的瘤胃外流速率见表 3。

对于粪中铬含量,铬标记豆粕在 28 h 时出现最大值;铬标记菜籽粕在 24 h 时出现最大值;铬标记玉米在 24 h 时出现最大值;铬标记鸭茅在 32 h 时出现最大值;铬标记大豆秸秆在 24 h 时出现最大值;铬标记小麦秸秆在 36 h 时出现最大值。采食豆粕、菜籽粕、玉米 3 种铬标记精料后粪中铬含量达到峰值的时间比鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆 3 种粗料早。粪中铬含量与时间呈指数关系,相关系数较高。

在通过方程 $C_t = C_0 e^{-kt}$ 确定外流速率时, k 由 C_0 以后的粪中铬含量确定,即只与铬排放峰值之后的粪中铬含量有关。确定外流速率的指数方程 $C_t = C_0 e^{-kt}$ 可变形为一次方程 $\ln C_0 - \ln C_t = kt$,其中斜率 k 即为外流速率。利用粪中铬含量的最高值 C_0 、达到最高值以后各时间点粪中铬含量 C_t 和时间 t ,可以确定每种饲料的一次方程。

2.3 基于外流速率实测值和参考值的有效降解率

由表 4 可以看出,菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅的外流速率参考值分别为 5.00%/h、5.00%/h、5.00%/h、3.14%/h、3.14%/h、3.14%/h,外流速率实测值分别为 7.49%/h、7.30%/h、6.84%/h、3.97%/h、5.59%/h、5.02%/h,实测值全部高于参考值。菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅外流速率参考值和实测值相对误差分别为 33.24%、31.51%、26.90%、20.91%、43.83%、37.45%,相对误差最大的为大豆秸秆(43.83%),最小的为小麦秸秆(20.91%)。

表 2 铬标记饲料的干物质回收率
Table 2 Dry matter recovery rate of Cr mordanted feedstuffs (n=4)

项目 Items	豆粕 Soybean meal	菜籽粕 Rapeseed meal	玉米 Corn	鸭茅 Cocksfoot	大豆秸秆 Soybean straw	小麦秸秆 Wheat straw	平均值 Mean
干物质回收率 Dry matter recovery rate	77.55±1.18	75.95±0.82	45.92±1.84	80.11±2.33	77.40±0.85	79.85±1.56	72.32±12.57
变异系数 CV	1.63	1.13	2.54	3.22	1.17	2.15	

表 3 粪中铬含量及其对应的回归方程和饲料瘤胃外流速率

Table 3 Fecal Cr content and its regression equation, and ruminal outflow rate of feedstuffs

时间 Time/h	豆粕 Soybean meal/ (μg/g)	菜籽粕 Rapeseed meal/ (μg/g)	玉米 Corn/ (μg/g)	鸭茅 Cocksfoot/ (μg/g)	大豆秸秆 Bean bran/ (μg/g)	小麦秸秆 Wheat straw/ (μg/g)	均值标准误 SEM
16	9 263.65	8 326.34	9 324.69	4 637.75	4 940.49	1 159.08	1 330.10
20	11 475.15	12 791.11	11 489.58	7 203.95	5 122.02	1 092.65	1 858.37
24	12 751.89	13 224.05	12 347.69	7 423.42	6 708.51	2 294.57	1 786.35
28	13 154.99	11 286.41	11 194.61	6 934.93	6 633.67	1 845.34	1 702.06
32	10 375.71	9 552.09	9 627.47	7 854.60	5 427.57	2 375.47	1 260.70
36	7 435.38	7 175.81	7 310.23	6 688.52	4 045.72	2 544.61	842.34
40	4 932.22	5 348.82	5 178.15	5 282.19	3 021.83	2 293.31	531.95
44	4 119.94	4 880.49	5 018.71	4 807.88	2 553.47	2 367.06	490.86
48	3 027.67	3 772.02	3 367.52	3 787.82	2 158.16	1 859.60	334.74
54	2 148.84	2 014.12	2 273.96	1 843.98	1 165.14	1 266.90	189.74
60	1 293.93	1 374.21	1 497.93	2 254.74	1 374.37	1 477.22	145.13
72	533.36	588.23	618.35	1181.06	584.83	886.08	103.30
84	229.82	178.78	263.17	679.53	273.85	494.92	78.87
96	85.92	82.18	131.91	327.91	155.52	375.68	51.79
108	36.05	28.81	52.55	190.93	63.73	178.73	29.88
120	17.25	15.50	22.37	84.61	39.25	85.39	13.39
指数方程 Exponential equation	$y = 102 217e^{-0.073x}$	$y = 112 259e^{-0.075x}$	$y = 86 567e^{-0.068x}$	$y = 40 491e^{-0.05x}$	$y = 30 724e^{-0.056x}$	$y = 13 182e^{-0.04x}$	
一次方程 Simple equation	$y = 0.073x - 2.05$	$y = 0.074 9x - 2.13$	$y = 0.068 4x - 1.94$	$y = 0.050 2x - 1.64$	$y = 0.055 9x - 1.52$	$y = 0.039 7x - 1.64$	
外流速率 Outflow rate/(%/h)	$R^2 = 0.999 3$	$R^2 = 0.996 6$	$R^2 = 0.998 7$	$R^2 = 0.989 9$	$R^2 = 0.995 0$	$R^2 = 0.976 3$	
	7.30	7.49	6.84	5.02	5.59	3.97	

表 4 外流速率实测值和参考值的比较

Table 4 Comparison of actual measured values and reference values of outflow rate

项目 Items	豆粕 Soybean meal	菜籽粕 Rapeseed meal	玉米 Corn	鸭茅 Cocksfoot	大豆秸秆 Soybean straw	小麦秸秆 Wheat straw
k_1 /(%/h)	5.00	5.00	5.00	3.14	3.14	3.14
k_2 /(%/h)	7.30	7.49	6.84	5.02	5.59	3.97
相对误差 Relative error/%	31.51	33.24	26.90	37.45	43.83	20.91

k_1 表示外流速率参考值, k_2 表示外流速率实测值。

k_1 was the reference value of outflow rate, and k_2 was the actual measured of outflow rate.

由表 5 可以看出,采用参考值计算出的菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅的干物质有效降解率分别为 39.39%、57.23%、51.62%、27.28%、50.90%、55.28%,采用实测值计算出的分别为 36.73%、51.78%、47.64%、25.58%、44.92%、47.71%,采用实测值计算所得数值全部低于采用参考值计算所得数值。采用参考值和实测值计算出的菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅干物质有效降解率的相对误差分别为 7.24%、10.53%、8.35%、6.65%、13.31%、15.87%,菜籽粕、玉米、小麦秸秆的相对误差相对较小,豆粕、大豆秸秆、鸭茅的相对误差相对较大,相对误差最大的为鸭茅(15.87%),最小的为小麦秸秆(6.65%)。采用参考值计算出的菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅的有机物有效降解率分别为 39.93%、55.28%、54.57%、26.55%、48.51%、54.16%,采用实测值计算出的分别为 35.63%、49.66%、49.81%、24.65%、42.39%、47.08%,采用实测值计算所得数值全部低于采用参考值计算所得数值。采用参考值和实测值计算出的菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅有机物有效降解率的相对误差分别为 12.07%、11.32%、9.56%、7.71%、14.44%、15.04%,豆粕、玉米、小麦秸秆的相对误差相对较小,菜籽粕、大豆秸秆、鸭茅的相对误差相对较大,相对误差最大的为鸭茅(15.04%),最小的为小麦秸秆(7.71%)。采用参考值计算出的菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅的粗蛋白质有效降解率分别为 35.11%、43.63%、44.03%、27.77%、59.54%、60.90%,采用实测值计算出的分别为 31.54%、37.43%、41.72%、25.53%、52.29%、52.51%,采用实测值计算所得数值全部低于采用参考值计算所得数值。采用参考值和实测值计算出的菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸

秆、大豆秸秆、鸭茅粗蛋白质有效降解率的相对误差分别为 11.32%、16.56%、5.54%、8.77%、13.86%、15.98%,菜籽粕、玉米、小麦秸秆的相对误差较小,豆粕、大豆秸秆、鸭茅的相对误差较大,相对误差最大的为豆粕(16.56%),最小的为玉米(5.54%)。

3 讨论

3.1 铬标记饲料干物质回收率

铬标记豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆在瘤胃内培养 24 h 后,其干物质回收率分别为 77.55%、75.95%、45.92%、80.11%、77.40%、79.85%,平均回收率为 72.32%。除玉米外,其他铬标记饲料干物质回收率均在 75% 以上,说明铬标记饲料稳定性较好,在瘤胃中不易被降解。不同饲料间的干物质回收率有差异,这与饲料中纤维成分含量有关,铬与饲料纤维成分形成不被消化的结合物^[7]。玉米中纤维成分含量较低,所以干物质回收率较低。

3.2 饲喂不同饲料后粪中铬含量的高峰期

饲喂不同饲料后粪中铬含量出现峰值的时间有差异,6 种饲料出现峰值的时间范围在 24~36 h。豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆分别在 28、24、24、32、24、36 h 出现峰值,说明它们通过瘤胃的最大速率分别在饲喂后 28、24、24、32、24、36 h 出现。豆粕、菜籽粕、玉米 3 种精料出现峰值的时间相对集中,而鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆 3 种粗料出现峰值的时间相对分散。3 种精料粪中铬含量达到峰值的时间比 3 种粗料短,说明精料在瘤胃中的停留时间比粗料短。豆粕、菜籽粕、玉米 3 种精料含纤维成分较少,含蛋白质、淀粉等易消化成分较多,在瘤胃中更容易被降解,所以在瘤胃中的停留时间较短;相反,鸭茅、大豆

秸秆、小麦秸秆中纤维成分含量很高,消化性相对较差,因此在瘤胃中停留时间较长。

表 5 基于外流速率实测值与参考值计算所得干物质、有机物和粗蛋白质有效降解率比较

Table 5 Comparison of effective degradability of dry matter, organic matter and crude protein calculated by actual measured values and reference values of outflow rate

项目 Items	豆粕 Soybean meal	菜籽粕 Rapeseed meal	玉米 Corn	鸭茅 Cocksfoot	大豆秸秆 Soybean straw	小麦秸秆 Wheat straw
干物质 Dry matter						
a/%	30.45	24.31	29.07	11.86	15.75	7.30
b/%	63.41	29.34	57.05	67.42	47.92	39.02
c/(%/h)	3.70	5.50	3.30	5.70	8.70	3.50
a+b/%	93.86	53.65	86.12	79.28	63.67	46.32
ED ₁ /%	57.23	39.39	51.62	55.28	50.90	27.28
ED ₂ /%	51.78	36.73	47.64	47.71	44.92	25.58
相对误差 Relative error/%	10.53	7.24	8.35	15.87	13.31	6.65
有机物 Organic matter						
a/%	29.48	22.44	26.51	14.86	12.87	6.19
b/%	64.83	31.48	71.58	62.18	48.93	40.02
c/(%/h)	3.30	5.40	3.30	5.40	8.50	3.40
a+b/%	94.31	53.92	98.09	77.04	61.80	46.21
ED ₁ /%	55.28	39.93	54.57	54.16	48.51	26.55
ED ₂ /%	49.66	35.63	49.81	47.08	42.39	24.65
相对误差 Relative error/%	11.32	12.07	9.56	15.04	14.44	7.71
粗蛋白质 Crude protein						
a/%	14.23	9.75	27.70	12.77	20.56	11.35
b/%	76.13	40.12	30.84	74.14	55.38	42.33
c/(%/h)	3.20	8.90	5.70	5.80	7.50	2.00
a+b/%	90.36	49.87	58.54	86.90	75.94	53.68
ED ₁ /%	43.63	35.11	44.03	60.90	59.54	27.77
ED ₂ /%	37.43	31.54	41.72	52.51	52.29	25.53
相对误差 Relative error/%	16.56	11.32	5.54	15.98	13.86	8.77

a 为快速降解部分; b 为慢速降解部分; c 为慢速降解部分的降解速率; ED₁ 为用外流速率参考值计算得到的有效降解率; ED₂ 为用外流速率实测值计算得到的有效降解率。

a was the rapidly degraded fraction; b was the slowly degraded fraction; c was the degradation rate of slowly degraded fraction; ED₁ was the effective degradability calculated by reference values of outflow rate; ED₂ was the effective degradability calculated by actual measured values of outflow rate.

林春建等^[8]在牛上测定了铬标记豆饼和麸皮的瘤胃外流速率,发现豆饼在 28~32 h 出现峰值,麸皮在 32~36 h 出现峰值,精料比粗料出现峰值的时间短,与本试验结果基本一致。李杰等^[9]测定了 4 种不同粒度豆粕的瘤胃外流速率,发现粪中铬含量出现高峰的时间为 40~44 h,明显高于本试验结果。马丽娟等^[10]采用铬标记法测定了狗常用饲料的瘤胃外流速率,发现玉米出现高峰的时间为 28~32 h,豆粕为 24~28 h,与本试验结果基

本一致。

3.3 不同饲料瘤胃外流速率的比较

通过本研究发现,不同饲料之间瘤胃外流速率有差异,豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆的瘤胃外流速率分别为 7.30%/h、7.49%/h、6.84%/h、5.02%/h、5.59%/h、3.97%/h。豆粕、菜籽粕、玉米 3 种精料的瘤胃外流速率比鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆 3 种粗料的高。在 3 种精料中,菜籽粕的外流速率高于豆粕,豆粕的外流速

率高于玉米;在 3 种粗料中,大豆秸秆的外流速率高于鸭茅,鸭茅的外流速率高于小麦秸秆。在相同的饲喂水平和饲料粒度等条件下,饲料瘤胃外流速率与饲料容重有关。精料容重相对较大,在瘤胃内容物中处于偏下的位置,更易通过瘤网胃口,所以外流速率较大;粗料容重较小,漂浮在瘤胃液上层,不容易外流,所以外流速率较小。刘美^[11]研究发现,相同精料水平下饲料瘤胃外流速率与饲料中性洗涤纤维含量和容重显著相关。在颗粒料条件下,不同饲料的瘤胃外流速率(k)可以由饲料精料水平(X_1)和饲料原料容重(X_2)进行预测: $k=2.46-0.012X_1+0.003X_2$ 。

李杰等^[9]设置细粉豆粕、中粉豆粕、未粉豆粕和粗粉豆粕 4 种不同粒度的豆粕,研究了不同粒度豆粕对绵羊瘤胃发酵及其外流速率的影响,结果发现,细粉豆粕、中粉豆粕、未粉豆粕和粗粉豆粕瘤胃外流速率分别为 5.8%/h、4.5%/h、5.0%/h 和 4.8%/h。本研究中豆粕的瘤胃外流速率为 7.30%/h,高于李杰等^[9]的研究结果。Hadjipanayiotou^[12]研究表明,豆粕的瘤胃外流速率比纤维性饲料的高,与本研究结果一致。Susmel 等^[13]在牛上的研究显示,鸭茅、苜蓿的瘤胃外流速率比玉米青贮、牧草干草、梯牧草、牛毛草的高,其中鸭茅的瘤胃外流速率为 4.5%/h。本研究在绵羊上测定的鸭茅瘤胃外流速率为 5.02%/h,高于小麦秸秆,低于大豆秸秆。刘建新等^[14]使用稻草单独饲喂绵羊,测得其瘤胃外流速率平均为 1.52%/h,陈晓琳等^[2]在肉羊上测定的小麦秸秆的瘤胃外流速率为 3.07%/h,本研究测定的小麦秸秆的瘤胃外流速率为 3.97%/h。Kusmartono 等^[15]在马鹿上的研究发现,饲喂菊苣时其固相和液相的瘤胃外流速率比饲喂黑麦草时高。本研究表明鸭茅的绵羊瘤胃外流速率高于小麦秸秆。王兴菊^[16]测定了玉米、豆粕、菜籽饼、苜蓿、三叶草、青贮玉米、青贮皇竹草和大叶麻竹笋壳在山羊上的瘤胃外流速率,其中玉米、豆粕、菜籽饼 3 种精料的瘤胃外流速率分别为 4.52%/h、4.91%/h、4.89%/h,大于苜蓿、三叶草、青贮玉米、青贮皇竹草和大叶麻竹笋壳,本研究测得的豆粕、玉米、菜籽粕的瘤胃外流速率要高于此值。不同研究之间实测外流速率的差异可能是由动物品种、饲喂水平和饲料粒度等的不同所导致。

根据 Ørskov 等^[3]和颜品勋等^[5]的研究,人们

在使用容重较大的饲料如饼粕类饲料或玉米时,瘤胃外流速率参考值大多为 5.00%/h,而干草类或秸秆类饲料瘤胃外流速率参考值多为 3.14%/h。本研究所得豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆的瘤胃外流速率实测值分别为 7.30%/h、7.49%/h、6.84%/h、5.02%/h、5.59%/h、3.97%/h,可以看出无论是饼粕类饲料、玉米还是干草、秸秆饲料,瘤胃外流速率实测值与参考值都有较大差异。

3.4 基于外流速率实测值和参考值的有效降解率比较

本研究中菜籽粕、豆粕、玉米、小麦秸秆、大豆秸秆、鸭茅 6 种饲料的外流速率实测值均比参考值大,采用实测值计算的干物质、有机物和粗蛋白质有效降解率均比采用参考值计算所得数值小。根据公式 $ED=a+bc/(c+k)$,当 a 、 b 、 c 值不变而 k 值增大时,ED 减小。可以看出,使用参考值计算有效降解率导致结果偏高。

通过对实测值和参考值计算所得的干物质、有机物、粗蛋白质有效降解率进行比较,干物质有效降解率的相对误差最小的为小麦秸秆 6.65%,最大的为鸭茅 15.87%;有机物有效降解率的相对误差最小的为小麦秸秆 7.71%,最大的为鸭茅 15.04%;粗蛋白质有效降解率的相对误差最小的为玉米 5.54%,最大的为豆粕 16.56%。可以看出,干物质、有机物和粗蛋白质有效降解率,基于外流速率实测值和参考值计算后都出现了较大的相对误差,说明两者所得饲料瘤胃有效降解率差异较大。这也说明当前瘤胃外流速率采用参考值无法很好地应用于实际情况当中,在实际研究时对饲料外流速率进行实测才是确保结果准确的最好办法。

4 结 论

① 不同饲料的瘤胃外流速率不同,豆粕、菜籽粕、玉米、鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆的瘤胃外流速率分别为 7.30%/h、7.49%/h、6.84%/h、5.02%/h、5.59%/h、3.97%/h,豆粕、菜籽粕、玉米 3 种精料的瘤胃外流速率比鸭茅、大豆秸秆、小麦秸秆 3 种粗料的高。

② 基于外流速率实测值计算的有效降解率与基于参考值计算的有效降解率差异较大,在涉及到饲料瘤胃有效降解率计算的的实际研究工作中建

议对饲料瘤胃外流速率进行实测。

参考文献:

- [1] 颜品勋,冯仰廉,杨雅芳,等.青粗饲料蛋白质及有机物质瘤胃降解规律的研究[J].中国畜牧杂志,1996,32(4):42-43.
YAN P X, FENG Y L, YANG Y F, et al. Research on rumen degradation law of green roughage protein and organic matter [J]. Chinese Journal of Animal Science, 1996, 32(4):42-43. (in Chinese)
- [2] 陈晓琳,孙娟,陈丹丹,等.5种常用粗饲料的肉羊瘤胃外流速率[J].动物营养学报,2014,26(7):1981-1987.
CHEN X L, SUN J, CHEN D D, et al. Ruminant outflow rates of five kinds of regular roughages in meat sheep [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(7):1981-1987. (in Chinese)
- [3] 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(2):499-503.
- [4] 中国饲料工业协会,中国农业科学院饲料研究所.饲料生物学评定技术[M].北京:中国农业科技出版社,1996.
China Feed Industry Association, Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Feed biological assessment technology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996. (in Chinese)
- [5] 颜品勋,冯仰廉,王燕兵,等.青粗饲料通过牛瘤胃外流速度的研究[J].中国动物营养学报,1994,6(2):20-22.
YAN P X, FENG Y L, WANG Y B, et al. Study on the outflow rate of green roughage through the rumen of cattle [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 1994, 6(2):20-22. (in Chinese)
- [6] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3版.北京:中国农业大学出版社,2007.
ZHANG L Y. Feed analysis and feed quality inspection technology [M]. 3rd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007. (in Chinese)
- [7] UDÉN P, COLUCCI P E, VAN SOEST P J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1980, 31(7):625-632.
- [8] 林春建,冯仰廉.尼龙袋法评定饲料在反刍动物瘤胃内蛋白质降解率[J].北京农业大学学报,1987,13(3):375-381.
LIN C J. Estimation of protein degradability in the rumen of steers using the nylon bag technique [J]. Acta Agriculturae Universitatis Pekinensis, 1987(3):375-381. (in Chinese)
- [9] 李杰,生广旭.不同粒度豆粕对绵羊瘤胃发酵及其外流速度的影响[J].东北农业大学学报,2008,39(12):62-66.
LI J, SHENG G X. Effect of different particle size of soybean meal on fermentation and outflow rate in rumen of sheep [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2008, 39(12):62-66. (in Chinese)
- [10] 马丽娟,张乃生.狗常用饲料瘤胃外流速度和降解率测定[J].吉林农业大学学报,2010,32(1):95-99.
MA L J, ZHANG N S. Measurement of outflow rate and degradation from rumen of commonly used feeds for roe deer [J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2010, 32(1):95-99. (in Chinese)
- [11] 刘美.山羊饲料养分瘤胃降解规律的研究[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2004.
LIU M. A Study on parameters in the measurement of nutrients ruminal degradability of feedstuffs for goats [D]. Master's Thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2004. (in Chinese)
- [12] HADJIPANAYIOTOU M. Differences between rumen outflow rate of fibrous and soybean meal particles in dry Chios ewes [J]. Small Ruminant Research, 1997, 26(1/2):193-195.
- [13] SUSMEL P, STEFANON B, MILLS C R, et al. Rumen degradability of organic matter, nitrogen and fibre fractions in forages [J]. Animal Science, 1990, 51(3):515-526.
- [14] 刘建新,大久保正彦,朝日田康司.稻草饲料通过绵羊瘤胃的速度及改善方法[J].中国动物营养学报,1990,2(2):7-10.
LIU J X, DA J B Z Y, CHAO R T K S. The passage rate of rice straw diet through the rumen of sheep and methods for improvement [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 1990, 2(2):7-10. (in Chinese)
- [15] KUSMARTONO U, SHIMADA A, BARRY T N. Rumen digestion and rumen outflow rate in deer fed fresh chicory (*Cichorium intybus*) or perennial ryegrass (*Lolium perenne*) [J]. The Journal of Agricultural Science, 1997, 128(1):87-94.
- [16] 王兴菊.山羊常用饲料瘤胃降解率的研究[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2011.
WANG X J. Study on the digestibility of some com-

mom feeds of goats in rumen [D]. Master's Thesis.

Chongqing: Southwest University, 2011. (in Chinese)

Effects of Measured Outflow Rate and Reference Outflow Rate on Ruminal Effective Degradability of Common Feedstuffs of Sheep

LIU Shenghan¹ Cirenquzhen² ZHANG Li² DANG Shibin¹ MO Fang¹ ZHANG Wei^{1*}

(1. State Key Laboratory of Animal Nutrition, College of Animal Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Sheep Improvement Laboratory, Institute of Animal Husbandry and Veterinary, Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Science, Lhasa 850009, China)

Abstract: This experiment was conducted to determine the ruminal outflow rate of 6 kinds of common feedstuffs for semi-wool sheep, and to analyze the effects of the actual measured value and the commonly used reference value of outflow rate on the determination of the rumen effective degradability of feedstuffs. Six healthy *Yunnan* semi-wool male sheep at the age of 3 years and with the body weight of 63 to 65 kg were selected as experimental animals, and four of them fitted with permanent ruminal cannula. Four cannula sheep were used to determine the dry matter recovery rate of chromium mordanted feedstuffs, and twelve normal sheep were used to determine the ruminal outflow rate of soybean meal, rapeseed meal, corn, cocksfoot, soybean straw and wheat straw. The results showed as follows: 1) the fecal chromium content of three chromium mordanted concentrates soybean meal, rapeseed meal and corn reached crest value at 24 to 28 h after feeding, while for three chromium mordanted roughages cocksfoot, soybean straw and wheat straw, it was 24 to 36 h. 2) There were differences in the ruminal outflow rates of different feedstuffs, the ruminal outflow rate for soybean meal, rapeseed meal, corn, cocksfoot, soybean straw and wheat straw was 7.30%/h, 7.49%/h, 6.84%/h, 5.02%/h, 5.59%/h and 3.97%/h, respectively. 3) The differences of effective degradability of dry matter, organic matter and crude protein calculated by actual measured and reference values of outflow rate were significant, and the data calculated by actual measured values were all lower than those calculated by actual measured values. It is concluded that there is significant difference between the ruminal effective degradability using actual measured value and the ruminal effective degradability using reference value. Therefore, we recommend to measure the feedstuffs ruminal outflow rate when using the rumen nylon bag method to determine the ruminal effective degradability in actual research work. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(5):2795-2803]

Key words: ruminal outflow rate; actual measured value; effective degradability; rumen nylon bag method; sheep