

# 不同比例棉秆和甜菜渣混合发酵产物的瘤胃降解率研究

芦岩<sup>1</sup> 孙云鹏<sup>1</sup> 耿明阳<sup>2</sup> 罗远琴<sup>1</sup> 薛雪<sup>1</sup> 孙新文<sup>1</sup> 向春和<sup>1</sup>  
毛胜勇<sup>3</sup> 王新峰<sup>1\*</sup> 张伶俐<sup>4\*</sup>

1.石河子大学动物科技学院,新疆石河子 832003;2.新疆伊犁州畜牧总站,新疆伊宁 835000;3.南京农业大学动物科技学院,南京 210095;4.汕头大学医学院,广东汕头 515041

**摘要** 甜菜渣的添加比例分别为 10%、30%和 50%,尿素添加比例分别为 0.1%、0.2%和 0.3%,菌液添加比例分别为 0.05%、0.1%和 0.2%,食盐添加量为 0.2%的三因素三水平的正交设计试验,研究各组发酵产物的瘤胃降解率,筛选出最佳发酵条件。试验结果表明:各组样品不同时间点的 DM、OM、CP、NDF 和 ADF 降解率差异显著,72 h 的 DM、OM、CP、NDF 和 ADF 降解率中,I 组都为最大,I 组与 H 组的 DM 和 G 组的 OM 降解率无显著差异,与 G 和 H 组的 NDF 降解率无显著差异,与 H 组的 ADF 降解率差异不显著,其他则差异显著。本研究表明,以干物质为基础,棉秆与甜菜渣比例为 50:50,添加尿素 0.1%,复合菌液 0.2%,食盐 0.2%的 I 组,其混合发酵产物的瘤胃降解特性最好,为最佳发酵组合,更适合饲喂反刍动物。

**关键词** 棉秆;甜菜渣;瘤胃降解率;发酵

新疆是我国重要的牛羊产品生产区,但因其特定的气候与地理位置,使得当地常规粗饲料资源难以满足牛羊等反刍动物的需要。据统计,2017 年新疆棉花种植的总面积达到 180.5 万  $\text{hm}^2$ ,棉秆大约 1 437.6 万  $\text{t}^{[1]}$ 。棉秆中粗蛋白、纤维素、半纤维素和木质素的含量约为 6.5%、44.0%、10.7%和 15.3%,但其木质素含量高且与纤维素紧密结合、有毒物质游离、棉酚含量高是影响家畜利用的主要因素。2017 年新疆甜菜渣的总产量达到 448.3 万  $\text{t}$ ,占全国总产量的 47.77%<sup>[1]</sup>。甜菜渣主要成分是碳水化合物,占干物质重量的 74.8%,含丰富的果胶、纤维素和半纤维素,但粗蛋白含量较低,这些因素使得甜菜渣的利用受到了限制<sup>[2]</sup>。将棉秆和甜菜渣混合发酵后,不仅降低了棉秆中游离棉酚的含量,提高了发酵产物的营养价值,改善其适口性,还增加了新疆粗饲料的

供给量。因此,如何开发利用棉秆与甜菜渣作为饲料资源成为解决新疆地区饲料资源匮乏的重要途径。饲料的瘤胃降解率是衡量反刍动物对其利用效率的重要指标。本试验以棉秆与甜菜渣混合产物为研究对象,测定发酵产物在瘤胃内干物质(DM)、有机物(OM)、粗蛋白质(CP)、中性洗涤纤维(NDF)、酸性洗涤纤维(ADF)的降解率,筛选出最佳的棉秆与甜菜渣发酵组合,为棉秆和甜菜渣在家畜生产中的应用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验所用饲料样品来自前期本实验室棉秆与甜菜渣混合发酵产物,在 65  $^{\circ}\text{C}$  条件下烘 48 h,粉碎,过 2.5 mm 孔筛备用。

收稿日期:2020-02-13

基金项目:国家自然科学基金(31360558);动物消化道营养国际联合研究中心开放课题和广东省创新强校工程项目青年创新人才项目(2018KQNCX083)

\* 通讯作者

芦岩,男,1994 年生,硕士研究生在读,研究方向:动物营养与饲料科学研究。

### 1.2 试验设计

用 2 L 的自封袋进行发酵,以甜菜渣为碳源,与已粉碎的棉秆混合(含水率在 65%左右)加入菌液、尿素和 0.2%(以总重量为基础)的粗盐,密闭条件下常温发酵,制备混合发酵产物。本试验共 3 个试验因素,分别为碳源、氮源和菌液,每个因素 3 个水平,采用正交设计,甜菜渣干物质的添加水平为 10%、30%和 50%;复合菌液的添加水平为 0.05%、0.1%和 0.2%;尿素的添加水平为 0.1%、0.2%和 0.3%;共计 9 个组合,以 100%的棉秆为对照组(表 1)。

表 1 试验分组 %

处理	甜菜	棉秆	尿素	菌液	食盐
K	0	100	0.00	0.00	0.20
A	10	90	0.10	0.05	0.20
B	10	90	0.20	0.10	0.20
C	10	90	0.30	0.20	0.20
D	30	70	0.30	0.05	0.20
E	30	70	0.10	0.10	0.20
F	30	70	0.20	0.20	0.20
G	50	50	0.20	0.05	0.20
H	50	50	0.30	0.10	0.20
I	50	50	0.10	0.20	0.20

### 1.3 试验动物与饲料

选择 3 只 1 岁左右、健康、生长发育正常、体重 35~40 kg,装有永久性瘤胃瘘管的哈萨克羊为试验动物,每天饲喂 2 次,每只羊每天定量饲喂 200 g 精料(由天康公司提供,精料成分为玉米 51%、麸皮 24%、豆粕 18%、尿素 1.5%、食盐 1%、碳酸氢钙 2.5%、添加剂 2%),苜蓿干草 1.6 kg,自由饮水。

### 1.4 尼龙袋试验方案

选择尼龙袋孔径 0.05 mm,尼龙袋尺寸为 8 cm×12 cm,准确称取 3 g 饲料样品装入尼龙袋中,每个样品设置 3 个重复,每个重复设置 10 个时间点,将尼龙袋袋口系紧拴在软塑料棒一端,另一端系绳固定在瘤胃瘘管上。采用“同时放入,多次取出”的方法,使每个样品在瘤胃中培养 0(空白)、2、4、6、8、12、24、36、48 和 72 h。尼龙袋取出后用自来水冲洗,反复冲洗直至水流澄清,放入 65 °C 恒温干燥箱中烘 48 h,回潮后称重记录,备测。

### 1.5 指标测定

干物质(DM)、有机物(OM)和粗蛋白质(CP)的测定参考杨胜<sup>[3]</sup>的方法,中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)采用 Van Soest<sup>[4]</sup>的方法。

### 1.6 降解率的计算

1)装袋样品逃逸率(%)=空白样品试验袋干物质重(g)-空白试验袋中残余物重(g)/空白试验袋样品干物质重(g)×100%;

2)校正装袋饲料样品量(g)=实际装袋饲料样品量(g)×[1-饲料样品逃逸率(%)];

3)某营养成分某培养时间点的降解量(g)=[校正装袋饲料样品量(g)×空白试验残余物中某营养成分的含量(%)]-[某培养时间点残余物的重量(g)×某培养时间点残余物中某营养成分的含量(%)];

4)某营养成分某时间点实时降解率(%)=某营养成分某时间的降解量/(校正装袋饲料样品量(g)×空白试验残余物中某营养成分的含量)×100%<sup>[5]</sup>。

### 1.7 数据统计与分析

采用 Excel 2010 软件对数据进行初步整理,SPASS 18.0 软件进行多因素方差分析,多重比较采用 Duncan 法,结果以平均值±标准差表示,其中 P<0.05 表示差异显著,P<0.01 表示差异极显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的主要营养成分

由表 2 可知,不同发酵产物的主要营养成分含量,提供了发酵产物发酵后的基础数据,为瘤胃降解率的研究提供参考。

表 2 不同发酵产物的主要营养成分(干物质基础) %

处理	干物质 (DM)	粗蛋白 (CP)	中性洗涤纤维 (NDF)	酸性洗涤纤维 (ADF)
A	26.28	8.17	75.76	66.19
B	26.19	8.25	75.63	65.85
C	25.83	8.39	75.31	65.39
D	24.59	9.16	73.34	62.59
E	24.82	8.91	73.54	63.15
F	23.49	9.39	72.74	62.38
G	22.07	9.73	72.05	60.59
H	20.08	9.85	72.13	60.16
I	21.24	9.93	71.86	59.51
K	30.62	7.35	76.19	67.23

### 2.2 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的 DM 降解率

由表 3 可知,各组不同时间点的 DM 降解率差异显著(P<0.05),72 h 后 I 组的 DM 降解率最高,为 57.54%,与 H 组无显著差异(P>0.05),显著高于

表 3 不同发酵产物的 DM 降解率

%

处理	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	48 h	72 h
A	12.91±0.71c	14.64±0.67d	18.67±0.57d	21.40±0.87e	26.06±0.41d	31.78±0.77e	35.82±0.87e
B	13.22±0.25c	14.35±0.29d	17.89±0.54d	19.63±0.74f	24.70±1.71d	32.59±1.16e	34.51±0.84e
C	13.73±0.54c	15.43±0.59d	18.28±0.72d	20.80±0.58ef	26.20±0.71d	31.67±0.65e	34.85±1.44e
D	14.82±0.39b	16.84±0.17c	20.27±0.35c	23.12±0.61d	30.01±0.18c	36.93±0.60d	41.86±0.67d
E	14.76±0.58b	16.67±0.42c	20.80±1.25c	24.77±0.92c	32.67±1.66b	40.03±1.43c	44.20±0.97c
F	14.65±0.57b	16.55±0.52c	20.09±0.74c	23.34±0.32d	31.05±1.57bc	39.73±1.62c	44.39±1.11c
G	17.79±0.54a	21.34±0.86b	27.55±0.71b	30.92±0.76b	40.30±0.84a	49.65±0.44b	54.69±1.21b
H	17.46±0.42a	22.82±0.53a	28.74±0.88a	32.36±1.27a	40.79±1.36a	52.01±0.31a	56.30±1.00ab
I	17.90±0.61a	22.36±0.77ab	29.82±0.28a	31.92±0.61ab	41.90±1.43a	53.58±0.59a	57.54±1.09a
K	12.81±0.40c	14.37±0.83d	16.14±0.17e	18.06±0.43g	24.13±0.39d	29.71±0.48f	32.11±1.14f

注:同列标注的不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),大写字母表示差异极显著( $P<0.01$ ),相同字母表示差异不显著( $P>0.05$ ),下同。

( $P<0.05$ )A 组 (60.64%)、B 组 (66.73%)、C 组 (65.11%)、D 组 (37.46%)、E 组 (30.18%)、F 组 (29.62%)、G 组 (5.21%)和 K 组 (79.20%),K 组的 DM 降解率最低,显著低于( $P<0.05$ )其他各组。

### 2.3 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的 OM 降解率

由表 4 可知,各组不同时间点的 OM 降解率差异显著( $P<0.05$ ),各样品 72 h 的 OM 瘤胃降解率 I 组最大,为 56.25%,与 G 组差异不显著( $P>0.05$ ),显著高于 ( $P<0.05$ )A 组 79.83%、B 组 79.77%、C 组 79.88%、D 组 49.64%、E 组 44.45%、F 组 32.07%、H 组 6.39%和 K 组 79.14%,K 组与 A、B 和 C 组无显著差异 ( $P>0.05$ ),与其他各组差异显著 ( $P<0.05$ )。

### 2.4 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的 CP 降解率

由表 5 可知,各组不同时间点的 CP 降解率存在显著差异( $P<0.05$ ),各样品 72 h 的 CP 瘤胃降解

率中,I 组的降解率最大,为 68.33%,与其他各组存在显著差异( $P<0.05$ ),K 组的降解率最小,显著低于 ( $P<0.05$ )其他各组。

### 2.5 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的 NDF 降解率

由表 6 可知,各组不同时间点的 NDF 降解率存在显著差异( $P<0.05$ ),各样品 72 h 的 NDF 降解率中 I 组的最大,为 52.07%,G、H 和 I 组之间差异不显著 ( $P>0.05$ ),且与其他各组差异显著 ( $P<0.05$ ),K 组与其他各组之间存在显著差异 ( $P<0.05$ )。

### 2.6 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的 ADF 降解率

由表 7 可知,各样品不同时间点 ADF 降解率存在显著差异( $P<0.05$ ),各组培养 72 h 的瘤胃 ADF 降解率中 I 组最大,为 44.57%,I 组与 H 组差异不显著 ( $P>0.05$ ),均显著高于其他各组 ( $P<0.05$ ),K 组与其他各组均存在显著差异 ( $P<0.05$ )。

表 4 不同发酵产物的 OM 降解率

%

处理	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	48 h	72 h
A	11.17±0.30b	12.81±0.06c	16.57±1.01cd	18.50±0.94d	22.82±0.93d	29.02±0.23d	31.28±0.01e
B	10.87±0.62b	12.87±0.62c	17.58±1.21cd	19.44±0.93d	23.75±1.17d	29.25±1.08d	31.29±1.15e
C	11.47±0.87b	12.74±1.00c	15.56±1.00d	17.56±1.16d	21.88±1.61d	28.79±1.52d	31.27±1.24e
D	11.50±0.58b	13.28±0.53c	17.80±0.68bc	21.14±0.30cd	27.95±0.94c	34.30±1.10c	37.59±0.93d
E	11.81±0.63b	14.09±0.53bc	18.11±0.41bc	22.29±0.90bc	29.48±0.68bc	35.85±1.66bc	38.94±1.70d
F	12.39±1.22b	15.08±0.82b	19.81±0.43b	24.00±0.51b	30.93±0.89b	38.58±0.95b	42.59±1.13c
G	16.95±1.65a	19.39±2.11a	24.73±2.73a	28.39±2.53a	38.33±2.40a	51.10±3.03a	54.72±3.12ab
H	17.36±0.14a	20.36±0.46a	25.62±0.42a	28.47±0.56a	38.10±1.44a	49.26±2.20a	52.87±2.72b
I	16.83±0.63a	19.85±0.29a	24.81±0.37a	29.69±0.57a	39.61±1.61a	51.88±0.38a	56.25±0.69a
K	11.74±1.01b	13.02±1.04c	15.98±1.06cd	18.01±1.34d	22.50±2.10d	29.25±2.03d	31.40±2.40e

表 5 不同发酵产物的 CP 降解率

处理	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	48 h	72 h
A	16.95±0.63cd	18.40±0.64de	21.89±0.66	24.81±0.68d	28.66±0.85ef	33.79±0.76g	35.96±0.79f
B	16.23±0.68de	17.67±0.11e	21.13±1.24	24.03±1.30d	27.68±1.30f	32.92±1.46g	35.05±1.64f
C	17.30±1.00cd	18.81±0.91de	22.24±1.18	25.22±0.98d	29.17±0.93ef	34.17±1.06fg	36.44±1.20f
D	18.22±0.78c	20.03±1.16d	23.36±1.66	26.10±1.91cd	31.25±2.14e	37.21±2.57ef	40.46±2.69e
E	18.21±1.31c	20.08±1.52d	22.15±1.48	23.96±1.62d	30.23±1.54ef	39.09±2.06e	42.14±2.00e
F	22.08±0.27b	23.97±0.12c	26.59±0.15	28.50±0.58c	35.40±1.17d	42.75±1.26d	46.75±1.32d
G	22.87±1.79b	26.33±1.89b	32.55±1.88	37.24±1.84b	45.64±2.23c	55.04±2.29c	58.97±3.60c
H	22.37±1.16b	25.13±1.07bc	32.63±1.52	37.49±1.65b	51.19±1.80b	59.54±1.17b	63.55±1.45b
I	26.32±0.50a	29.55±0.35a	36.92±1.83	41.72±2.15a	55.23±2.55a	64.00±3.25a	68.33±2.93a
K	14.58±1.10e	15.76±1.02f	17.69±0.84	19.27±0.71e	22.71±0.84g	27.32±1.07h	28.51±0.88g

表 6 不同发酵产物的 NDF 降解率

处理	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	48 h	72 h
A	11.85±0.22b	13.32±0.25b	15.95±0.26cd	17.29±0.24c	23.38±0.21cd	30.46±0.42d	32.49±0.42c
B	12.10±0.39b	13.61±0.57b	16.24±0.62cd	17.56±0.79c	23.58±0.71cd	30.84±0.94cd	32.86±0.95c
C	11.72±0.92b	13.17±1.00b	15.73±1.21cd	17.23±1.08c	23.40±0.81cd	30.54±1.06d	32.57±1.06c
D	14.60±0.68a	16.09±0.72a	18.74±1.04bc	21.02±1.04b	26.37±1.11bc	33.78±1.36bc	35.77±1.47bc
E	15.39±1.16a	16.93±1.17a	19.94±1.87b	22.22±1.88b	27.65±2.04b	35.06±1.26b	37.19±1.56b
F	14.75±0.81a	16.85±0.53a	20.09±0.50b	22.57±0.77b	27.53±0.73b	34.94±0.43b	37.18±0.48b
G	15.11±2.00a	18.02±2.24a	23.32±2.35a	27.30±1.76a	35.04±2.27a	46.08±1.89a	49.19±2.27a
H	14.64±1.52a	18.05±2.00a	24.30±2.85a	28.70±2.62a	36.26±3.65a	48.41±3.56a	51.73±3.49a
I	14.84±1.09a	18.08±1.64a	24.66±2.28a	28.99±2.03a	36.62±3.11a	48.72±3.06a	52.07±2.71a
K	10.66±0.51b	12.21±0.46b	15.30±0.27d	17.03±0.51c	21.62±0.83d	25.49±0.95e	26.61±0.87d

表 7 不同发酵产物的 ADF 降解率

处理	2 h	4 h	8 h	12 h	24 h	48 h	72 h
A	10.87±0.62cd	12.87±0.62cd	17.58±1.21c	19.44±0.93c	23.75±1.17c	29.25±1.08cd	31.29±1.15e
B	10.71±0.58cd	12.30±0.23d	15.85±0.29d	18.22±0.20c	22.52±0.69cd	30.04±0.77cd	32.57±0.73de
C	12.35±0.48b	14.01±0.37c	16.94±0.62cd	19.07±0.67c	23.09±0.60c	30.89±0.61cd	33.90±0.57cd
D	11.48±0.34bcd	13.40±0.49cd	16.12±0.42cd	18.45±0.34c	22.63±0.64cd	30.40±0.81cd	33.79±1.63d
E	11.21±0.77bcd	12.86±1.12cd	15.67±1.14de	18.13±0.61c	22.17±0.54cd	29.82±0.62cd	32.68±0.65de
F	11.87±0.42bc	13.80±0.78c	16.48±0.50cd	18.81±1.00c	23.36±0.84c	31.32±0.67c	35.66±0.81c
G	13.87±0.40a	15.65±0.66b	19.45±0.97b	23.10±0.92b	28.11±1.02b	38.21±1.07b	42.42±1.06b
H	14.39±1.10a	16.47±0.87ab	20.00±0.63b	23.11±0.95b	28.38±0.88b	38.56±1.16b	43.43±0.52ab
I	15.02±1.04a	17.56±0.87a	22.13±0.65a	26.05±0.58a	30.86±0.55a	40.63±0.93a	44.57±1.56a
K	10.16±0.90d	10.94±1.05e	14.29±1.27e	16.59±1.47d	21.12±1.32d	26.00±1.08e	27.78±1.06f

### 3 讨 论

#### 3.1 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的 DM 和 OM 降解率

DM 降解率作为干物质采食量(DMI)的重要影响因素<sup>[6]</sup>,DM 降解率越高的动物 DMI 越大,动物摄入的营养物质越多,就越能提高其生产力。本试验中,各组混合发酵产物的 DM 和 OM 降解率表现出

较大差异,且 DM 降解率高于 OM 降解率,其中 I 组的 DM 降解率在 24、48 和 72 h 中最高,OM 降解率在 12、24、48 和 72 h 最高,表明其混合发酵产物易于反刍动物消化;I 组的 72 h DM 降解率为 57.54%,与孙建平<sup>[7]</sup>研究不同紫花苜蓿相比,72 h DM 降解率是其平均值的 75.49%,72 h 的 OM 降解率是其平均值的 56.25%,与侯玉洁等<sup>[8]</sup>研究苜蓿相比,72 h OM 降解率是其值的 79.89%,可以表明 I 组有

比较高的营养价值。通过上述结果表明,发酵中添加一定量的甜菜渣,优化了发酵产物的纤维组成,同时在微生物的作用下,经发酵后,发酵产物的植物纤维结构软化,易降解部分提高,蛋白质的比例与组成发生明显变化,发酵产物的可消化性与饲喂价值得到提高。

### 3.2 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的 CP 降解率

饲料中的蛋白质主要以含氮化合物的形式存在于细胞内的组织液中,因此饲草细胞壁的纤维结构会很大程度上影响其蛋白质的降解程度<sup>[9]</sup>。一般情况下,饲料蛋白质在瘤胃内的降解率会随蛋白质在瘤胃内的发酵时间的延长而不断增大<sup>[10]</sup>。CP 的瘤胃降解率也受蛋白质的含量、组分以及在瘤胃中的滞留时间的影响<sup>[11]</sup>。本试验中 I 组的蛋白质最高,其 72 h 的 CP 降解率和有效降解率也最大,为 68.33% 和 52.87%,与燕麦草的 CP 降解率和有效降解率接近<sup>[12]</sup>,其营养价值较高。Satter<sup>[13]</sup>研究表明,饲料的 CP 瘤胃降解率受饲料本身的性质影响很大。因此,我们推测发酵产物 CP 降解率的提高可能与甜菜渣中含有大量的碳水化合物,充足的微生物基数和氮源的保证,创造了良好的微生物繁殖条件,促进了发酵过程中微生物的大量增殖,破坏了发酵产物中纤维的结构,使得细胞组织液中的含氮化合物更易被瘤胃微生物降解,提高了发酵产物中粗蛋白的含量,改变了蛋白质各部分的组分,提升了优质蛋白所占的比例有关。

### 3.3 不同棉秆和甜菜渣混合发酵产物的 NDF 和 ADF 降解率

饲料中 NDF 和 ADF 的瘤胃降解率是评价饲料的重要指标,其值大小反映了饲料纤维物质在瘤胃内消化的难易程度。其中 NDF 是细胞壁的主要成分,主要有纤维素、半纤维素和木质素,而 ADF 主要有纤维素和木质素,其中木质素是限制瘤胃微生物消化降解的重要原因<sup>[14-15]</sup>。本试验中,不同样品的 NDF 和 ADF 降解率均存在差异,I 组的 NDF 和 ADF 降解率都为各样品中最高,表明 I 组在瘤胃中的可消化性是最好的,说明其营养价值为各发酵组合中最佳。甜菜渣为微生物的发酵提供了能量,加快了微生物的繁殖,破坏了纤维素、半纤维和木质素的结构,使得细胞壁更易被降解;甜菜渣和棉秆

混合优化了发酵产物的植物纤维组成,可降解和易降解的比例增大,降低了瘤胃微生物的消化难度,这些因素可能是 NDF 和 ADF 降解率提高的重要原因。

## 4 结 论

本研究表明,以干物质为基础,棉秆与甜菜渣比例为 50:50,添加尿素 0.1%,复合菌液 0.2%,食盐 0.2% 的 I 组,其混合发酵产物的降解特性最好,为最佳发酵组合,更适合饲喂反刍动物。

## 参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2018.
- [2] 路立里,高丽,王晶,等.棉花秸秆和甜菜渣不同比例混贮对发酵品质的影响[J].草食家畜,2017(4):28-32.
- [3] 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,1996:171-172.
- [4] VAN SOEST P J,ROBERTSON J B,LEWIS B A.Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber,and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition [J].Journal of dairy science,1991,74(10):3583-3597.
- [5] 赵广永.反刍动物营养[M].北京:中国农业大学出版社,2012.
- [6] 夏科,姚庆,李富国,等.奶牛常用粗饲料的瘤胃降解规律[J].动物营养学报,2012,24(4):769-777.
- [7] 孙建平,董宽虎.不同紫花苜蓿品种瘤胃降解特性比较[J].草地学报,2016,24(6):1323-1330.
- [8] 侯玉洁,徐俊,吴春华,等.5 种不同牧草在奶牛瘤胃中降解特性的研究[J].中国奶牛,2013(16):4-8.
- [9] 冷静,张颖,朱仁俊,等.6 种牧草在云南黄牛瘤胃中的降解特性[J].动物营养学报,2011,23(1):53-60.
- [10] 刁其玉,屠焰.奶牛常用饲料蛋白质在瘤胃的降解参数[J].乳业科学与技术,2005(2):70-74.
- [11] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004.
- [12] 刘祥圣,王琳,宁丽丽,等.构树不同部位与奶牛常用粗饲料瘤胃降解特性对比研究[J].动物营养学报,2019,31(8):3612-3620.
- [13] SATTER L D.Protein supply from undegraded dietary protein [J].Journal of dairy science,1986,69(10):2734-2749.
- [14] 郭冬生,彭小兰,夏维福.反刍动物对粗纤维的利用及营养调控[J].饲料广角,2010(10):32-33.
- [15] 许浩,李翔.木质素对粗纤维瘤胃降解率的影响及提高木质素瘤胃降解率方法的研究进展[J].中国奶牛,2017(4):1-4.

【责任编辑:胡 敏】