

不同生长高度王草瘤胃降解特性研究

李 茂¹, 字学娟^{1,2}, 白昌军¹, 周汉林^{1*}, 刘国道^{1*}

(1. 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 儋州 571737; 2. 海南大学应用科技学院, 儋州 571737)

摘 要: 本试验旨在研究不同生长高度王草营养成分的动态变化及其在海南黑山羊瘤胃内的降解特性。王草分别在株高为 90、120、150、180、210、240 和 270 cm 时刈割并制成样品, 测定常规营养成分含量。选用安装有永久性瘤胃瘘管的海南黑山羊 3 只, 采用尼龙袋法评定其干物质(DM)、粗蛋白质(CP)和中性洗涤纤维(NDF)的瘤胃降解率和有效降解率。试验结果表明, 王草主要营养成分随生长高度增加而变化, 其中 CP 随生长高度增加而降低, ADF、NDF 含量随生长高度增加而升高, 180 cm 后粗饲料等级较低; 不同生长高度王草瘤胃降解率在 48 h 前增长较快, 48~72 h 逐渐趋于稳定, 降解速率由低到高再降低; 各个时间点的 DM、CP 和 NDF 降解率随着生长高度的增加而降低; 王草 DM、CP 和 NDF 的慢速降解部分在 180 cm 时最高, 降解速率在 150 或 180 cm 时最高; 王草主要营养成分快速降解部分、潜在降解部分和有效降解率随生长高度而降低。综合考虑不同生长高度王草主要营养成分含量、粗饲料等级和瘤胃降解特性, 王草在生长高度低于 180 cm 时具有较高的饲用价值。

关键词: 王草; 生长高度; 营养成分; 尼龙袋技术; 瘤胃降解率

中图分类号: S815.4

文献标志码: A

文章编号: 0366-6964(2015)10-1806-10

Rumen Degradation Characteristics of Kinggrass at Different Plant Heights

LI Mao¹, ZI Xue-juan^{1,2}, BAI Chang-jun¹, ZHOU Han-lin^{1*}, LIU Guo-dao^{1*}

(1. *Tropical Crops Genetic Resources Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, China*; 2. *College of Applied Science and Technology, Hainan University, Danzhou 571737, China*)

Abstract: The aim of this experiment was to investigate the dynamics of nutrient composition and rumen degradation characteristics of Kinggrass at different plant heights in Hainan Black goat. Kinggrass was cut and sampled when the plants height were 90, 120, 150, 180, 210, 240 and 270 cm, respectively, and their nutrient compositions were determined. Rumen degradability and effective digestibility (ED) of dry matter (DM), crude protein (CP) and neutral detergent fiber (NDF) were determined by the rumen nylon-bag technique with 3 Hainan Black goats with permanent rumen cannulas. The results showed as follows: The nutrient composition of Kinggrass changed with increasing plant height, CP content decreased but acid detergent fiber (ADF) and NDF content increased, and Kinggrass had the lower mixture quality standard when the plant was higher than 180 cm. Kinggrass rumen degradability at different plant heights increased faster before 48 h, from 48 to 72 h gradually stabilized, and the rate of degradation of slowly degradable fraction from low to high and then decreased. Rumen degradability of DM, CP and NDF at different periods decreased with increasing plant height. The slowly degradable fraction of DM, CP and NDF were highest at 180 cm and the rate of degradation were highest at 150 or 180 cm. The rapidly degradable fraction, potentially degradable fraction and ED of Kinggrass decreased with increasing plant height. In conclusion, considering nutrient composition, mixture quality standard

收稿日期: 2014-11-04

基金项目: 海南省自然科学基金(314127); 中国热带农业科学院基本科研业务费(1630032014001)

作者简介: 李 茂(1984-), 男, 四川绵阳人, 硕士, 助理研究员, 主要从事热带牧草和反刍动物营养研究, E-mail: limao@163.com

* 通信作者: 周汉林, 研究员, E-mail: zhouhanlin8@163.com; 刘国道, 研究员, E-mail: liuguodao2008@163.com

and rumen degradation characteristics of Kinggrass at different plant heights, it have the higher feeding value when the plant is lower than 180 cm.

Key words: kinggrass; plant height; nutrient composition; nylon-bag technique; rumen degradability

反刍家畜日粮由粗饲料和精料构成,其中粗饲料占日粮比例约为 60%~80%,是动物所需能量的主要来源^[1]。牧草是反刍家畜的重要粗饲料来源,对畜牧业的发展具有十分重要的作用。近年来受“三聚氰胺”、“瘦肉精”等事件影响,饲料原料的安全性已经成为公众关注的焦点问题,牧草生产逐渐引起人们的关注。另外,随着我国居民食物结构的改变,对动物产品的需求剧增,养殖业发展迅速,导致饲料用粮的缺口越来越大,充分利用牧草等粗饲料资源,将有效地缓解我国的粮食安全问题^[2]。牧草营养价值的评价是动物能否高效利用的前提,牧草营养成分含量和降解率是营养价值评定的重要指标。目前评价反刍动物饲料降解率主要有体内法(*in vivo*)、半体内法(*in situ*)和体外法(*in vitro*)3种方法^[1]。其中半体内法指尼龙袋法,其操作方法简便、重复性好,能真实反映瘤胃的内环境,便于批量操作,是国际通用的测定饲料瘤胃降解率的方法之一。目前,国内应用尼龙袋法测定牧草的瘤胃降解率在奶牛、肉牛、肉羊上研究较广泛^[3-5],国外学者也在这方面做了大量工作^[6-9],而山羊关于热带地区牧草瘤胃降解率的相关数据较为缺乏。

王草(*Pennisetum purpureum* Schumacher × *P. glaucum* (Linnaeus) R. Brown)是一种优质的热带多年生禾本科牧草,具有产量高、茎叶柔嫩多汁、适口性好等特点,是海南黑山羊重要的粗饲料来源,目前主要利用方式是刈割后直接饲喂^[10]。海南岛水热资源丰富,王草生长速度快,若生长高度为 2 m 时刈割利用,平均每年可以刈割 8~10 次。王草在人工刈割条件下难以开花结实,通过生育期判断其营养价值较为困难,如何确定收获利用的最佳时期是生产中面临的主要问题之一。植物不同生长高度一定程度上反映了其不同成熟程度,相应的营养成分含量也存在差异,营养价值也有所不同^[11-14]。通过生长高度来判断王草的营养价值还未见报道。本试验以不同生长高度王草为试验材料,通过分析其主要营养成分,并采用尼龙袋法研究了其在海南黑山羊瘤胃内的降解特性,综合营养成分和瘤胃降解情况提出王草适宜收获高度,为王草在海南黑山羊生产中的高效利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与分组

试验材料为热研 4 号王草,种植于中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所热带畜牧研究中心实验基地,北纬 19°30',东经 109°30',海拔 149 m,属热带季风气候,气候特点是夏秋季节高温多雨,冬春季节低温干旱,干湿季节明显;土壤为花岗岩发育而成的砖红壤土,土壤质地较差,自动灌溉。试验选择种植第 2 年的同一茬次同一地块内的王草,分别在株高为 90、120、150、180、210、240、270 cm 时刈割,分别称为 90 cm 组、120 cm 组、150 cm 组、180 cm 组、210 cm 组、240 cm 组、270 cm 组,留茬高度为 5 cm,每个高度选取约 2 m² 样方 3 个。刈割的材料通过全自动铡草机切短至约 30 mm,充分混匀后采集样品约 1 000 g,通过 120 °C 杀青 20 min 后用 65 °C 烘 48 h,置于空气中自然冷却,粉碎后过 40 目筛制成样品,用于测定各种营养成分含量和瘤胃降解率。

1.2 瘤胃降解试验

采用单因子试验设计,选用 3 只体重约 20 kg、装有永久瘤胃瘻管的海南黑山羊作为 3 个重复,试验于 2014 年 4 月—7 月在中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所热带畜牧试验基地进行,预试期 10 d。试验羊单圈饲养,每只每天给予 300 g 精料和 1 000 g 新鲜王草,每天 08:00 和 15:00 分 2 次饲喂,自由饮水。基础日粮组成及营养水平见表 1。

尼龙袋大小为 5 cm × 10 cm,孔径为 300 目。称取被测样品 5 g 左右放入尼龙袋中,分别将袋样绑在 1 根约 10 cm 长的半软性塑料管上,将尼龙袋送入瘤胃腹囊处,管的另一端固定在瘻管盖上。每只羊瘤胃内放一根管,共 5 个样袋,每个样品 3 个重复,共 3 只羊。于清晨饲喂前放入尼龙袋,分别在放后 6、12、24、48、72 h 从每只羊胃中取出 1 个尼龙袋,立即用自来水冲洗尼龙袋,直至水清为止。再将尼龙袋放入 65 °C 烘箱内,烘干至恒重。

1.3 测定指标

王草样品干物质(DM)、粗蛋白(CP)和粗脂肪(EE)的测定采用饲料常规分析法^[15];中性洗涤

表 1 日粮组成与营养水平

Table 1 Dietary composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

原料 Ingredient	含量 Content	%
玉米 Maize	67.00	
豆粕 Soy bean meal	12.00	
麸皮 Wheat bran	4.00	
酵母 Yeast	10.00	
植物油 Plant oil	1.00	
食盐 Salt	1.40	
贝壳粉 Shell powder	0.10	
小苏打 NaHCO ₃	0.50	
预混料 Premix ¹	4.00	
合计	100	
营养水平 Nutrition level	含量 Content	
DE/(MJ · kg ⁻¹)	13.34	
CP	16.80	
EE	4.95	
ADF	4.15	
NDF	10.19	
Ca	0.64	
AP	0.11	

¹. 预混料为每千克饲粮提供: VA 15 000 IU; VD 5 000 IU; VE 50 mg; Fe 9 mg; Cu 12.5 mg; Zn 100 mg; Mn 130 mg; Se 0.3 mg; I 1.5 mg; Co 0.5 mg

¹. The premix provides the following per kilogram of diet: VA 15 000 IU; VD 5 000 IU; VE 50 mg; Fe 9 mg; Cu 12.5 mg; Zn 100 mg; Mn 130 mg; Se 0.3 mg; I 1.5 mg; Co 0.5 mg

纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)的测定采用范氏(Van Soest)测定法^[16]; 饲料相对值(RFV, Relative feed value)计算方法参考 D. A. Rohweder 等^[17]的方法, 粗饲料分级标准参考文献[18], 见表 2。

表 2 RFV 粗饲料分级标准

Table 2 RFV mixture quality standards

分级 Quality standard	特级 Prime	1	2	3	4	5
RFV/%	>1.51	1.25~1.50	1.03~1.24	0.87~1.02	0.75~0.86	<0.75

1.4 瘤胃降解率和降解参数的计算方法

不同时间点的营养成分降解率(%)=[(降解前样品营养成分含量-样品降解后营养成分含量)/降解前样品营养成分含量]×100%。

参照 E. R. Ørskov 等^[6]提出的模型 $dP = a + b(1 - e^{-at})$, 利用最小二乘法计算饲料在瘤胃内的动态降解模型参数(a 、 b 和 c), 进一步计算有效降解率。待测饲料有效降解率(P)的测定公式: $P = a + bc/(k + c)$ 。

式中: dP 表示 t 时刻降解率, a 表示快速降解部分, b 表示慢速降解部分, c 代表 b 的降解速率(%/h), t 表示饲料在瘤胃内的培养时间(h), P 表示饲料在瘤胃内的有效降解率, k 表示待测饲料的瘤胃流通速率(%/h), 本试验条件下数值取 0.02/h。

1.5 统计分析

采用 SAS 9.0 软件和 Excel 2003 软件进行数据处理和统计分析, 差异显著性检验采用邓肯法。

2 结果

2.1 不同生长高度王草营养成分和饲料相对值

不同生长高度王草的营养成分如表 3 所示, DM 含量在 12.06%~21.40%; CP 含量在 5.94%~11.97%; EE 含量在 4.36%~6.27%; NDF 含量在 49.31%~72.08%; ADF 含量在 28.92%~46.80%; RFV 在 0.67~1.25。由上述结果可以看出 DM、NDF、ADF 含量随生长高度增加而增加; CP、EE、RFV 随生长高度增加而降低, 特别是在 180 cm 后显著降低($P < 0.05$)。另外, 参照粗饲料分级标准(表 2), 不同生长高度王草粗饲料等级随生长高度增加而降低, 高于 180 cm 后营养价值较低。

2.2 不同生长高度王草在不同时间点 DM 的瘤胃降解率和降解参数

不同生长高度王草的干物质瘤胃降解率和降解参数如表 4 所示, 随着瘤胃消化时间延长, 不同生长高度王草的 DM 降解率逐渐增加, 48 h 后降解率增

表 3 不同生长高度王草营养成分含量和饲料相对值

Table 3 Chemical composition and RFV of Kinggrass at different plant heights

项目 Item	生长高度/cm Plant height						
	90	120	150	180	210	240	270
干物质/% DM	12.06±0.52 ^{de}	13.14±0.44 ^d	13.90±0.57 ^d	15.82±0.45 ^e	16.27±0.37 ^e	18.41±1.02 ^b	21.40±0.41 ^a
粗蛋白/% CP	11.97±1.58 ^a	11.41±1.63 ^a	9.36±1.87 ^b	8.24±1.53 ^c	6.80±0.77 ^{de}	6.79±0.45 ^e	5.94±0.79 ^f
粗脂肪/% EE	6.27±0.85 ^a	6.27±0.75 ^a	6.03±0.77 ^a	5.89±0.90 ^a	5.11±0.62 ^b	4.74±0.67 ^{bc}	4.36±0.59 ^c
中性洗涤纤维/% NDF	49.31±4.45 ^e	56.16±5.83 ^d	62.12±4.17 ^{cd}	64.58±4.30 ^c	68.14±7.95 ^b	71.31±4.12 ^a	72.08±6.15 ^a
酸性洗涤纤维/% ADF	28.92±3.49 ^f	32.11±5.03 ^{de}	34.14±4.4 ^d	36.31±3.52 ^c	38.78±5.55 ^{bc}	40.64±6.53 ^b	46.80±6.26 ^a
饲料相对值 RFV	1.25±0.25 ^a	1.05±0.11 ^b	0.93±0.23 ^b	0.87±0.27 ^c	0.80±0.30 ^d	0.74±0.37 ^c	0.67±0.10 ^f
等级 Quality standard	1	2	2	3	4	5	5

同行不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同

Means within the same row with different letters are significantly different at 0.05 level. The same as below

表 4 不同生长高度王草干物质在瘤胃内的降解率和降解参数

Table 4 The ruminal dry matter degradability and dynamic degradation of Kinggrass at different plant heights in goat

项目 Item	生长高度/cm Plant height						
	90	120	150	180	210	240	270
6 h	44.90±5.40 ^a	35.40±3.97 ^b	33.57±6.08 ^b	29.38±5.36 ^c	24.15±3.02 ^d	18.47±4.52 ^e	10.53±2.47 ^f
12 h	46.48±8.93 ^a	40.07±4.69 ^b	40.82±7.36 ^b	38.94±6.53 ^{bc}	30.11±3.68 ^d	24.92±1.69 ^e	16.86±1.39 ^f
24 h	54.08±4.76 ^a	47.04±4.64 ^b	48.14±4.24 ^b	44.74±4.58 ^c	35.96±5.01 ^d	28.40±4.41 ^e	20.65±2.69 ^f
48 h	56.23±5.08 ^a	49.05±7.24 ^b	50.43±5.08 ^c	48.07±2.85 ^c	40.96±3.32 ^d	33.21±1.86 ^e	25.45±0.51 ^f
72 h	60.25±4.32 ^a	56.19±2.88 ^b	53.05±7.87 ^{bc}	51.37±2.86 ^c	42.64±4.64 ^d	34.49±3.53 ^e	27.53±5.80 ^f
a	40.38±4.64 ^a	31.68±3.07 ^b	22.10±4.59 ^c	18.20±3.78 ^d	17.35±3.41 ^d	12.35±1.26 ^e	5.28±2.44 ^f
b	20.79±4.64 ^e	25.90±2.37 ^d	30.14±5.05 ^b	33.15±5.07 ^a	28.34±3.37 ^{bc}	22.20±1.81 ^e	25.14±0.77 ^d
a+b	61.18±4.58 ^a	57.59±4.21 ^b	52.24±3.19 ^c	51.36±4.18 ^c	45.69±6.95 ^d	34.55±2.10 ^e	30.42±3.76 ^f
Degradation parameter c/(%/h)	0.036 ^c	0.031 ^e	0.080 ^a	0.073 ^{ab}	0.047 ^d	0.060 ^c	0.044 ^d
ED	53.82±2.04 ^a	47.46±3.79 ^b	46.21±7.73 ^b	37.92±2.20 ^c	31.06±6.24 ^d	28.93±2.36 ^e	17.05±2.50 ^f

加幅度减小。各个时间点的 DM 降解率随着生长高度的增加而降低,其中除了 6 h 时 120 和 150 cm 组之间,12 h 时 120、150 和 180 cm 组之间;24 h 时 120 和 150 cm 组之间,48 h 时 150 和 180 cm 组之间,72 h 时 120 和 150 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他时间点不同生长高度王草的 DM 降解率均有显著差异($P<0.05$)。快速降解部分 a 随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$),仅 180 和 210 cm 组之间未达到显著水平($P>0.05$);慢速降解部分 b 随着生长高度的增加呈现先增加后降低的趋势,180 cm 组最高,90 cm 组最低,除了 90 和 240 cm 组、120 和 270 cm 组、150 和 210 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他生长高度之间差异显著($P<0.05$);潜在降解部分 a+b 随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$),仅 150 和 180 cm 组之间未达到显著水平($P>0.05$);b 的降解速率 150 cm 组最高,120 cm 组最低,除了 90 和 120 cm 组、150 和 180 cm 组、210 和 270 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他生长高度之间差异显著($P<0.05$);有效降解率(ED)随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$),仅 120 和 150 cm 组之间未达到显著水平($P>0.05$)。

2.3 不同生长高度王草在不同时间点 CP 的瘤胃降解率和降解参数

不同生长高度王草的粗蛋白瘤胃降解率和降解参数如表 5 所示,随着瘤胃消化时间延长,不同生长高度王草的 CP 降解率逐渐增加,48 h 后降解率增加幅度减小。各个时间点的 CP 降解率随着生长高度的增加而降低,其中除了 12 h 时 120 和 150 cm 组、210 和 240 cm 组之间;24 h 时 120 和 150 cm 组之间,48 h 时 120 和 150 cm 组、210 和 240 cm 组之间,72 h 时 120 和 150 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他时间点不同生长高度王草的 CP 降解率均有显著差异($P<0.05$)。快速降解部分 a 随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$),仅 180 和 210 cm 组之间未达到显著水平($P>0.05$);慢速降解部分 b 随着生长高度的增加呈现先增加后降低的趋势,180 cm 组最高,270 cm 组最低,除了 90、150 和 180 cm 组、120 和 210 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他生长高度之间差异显著($P<0.05$);潜在降解部分 a+b 随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$);b 的降解速率 180 cm 组最高,90 cm 组最低,除了 90 和 210 cm 组、120 和

240 和 270 cm 组、150 和 180 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他生长高度之间差异显著($P<0.05$);有效降解率 ED 随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$),120 和 150 cm 组、210 和 240 cm 组之间未达到显著水平($P>0.05$)。

2.4 不同生长高度王草在不同时间点 NDF 的瘤胃降解率和降解参数

不同生长高度王草的中性洗涤纤维瘤胃降解率和降解参数如表 6 所示,随着瘤胃消化时间延长,不同生长高度王草的 NDF 降解率逐渐增加,48 h 后降解率增加幅度减小。各个时间点的 NDF 降解率随着生长高度的增加而降低,其中除了 6 h 时 120 和 150 cm 组之间、12 h 时 120 和 150 cm 组、180 和 210 cm 组之间;24 h 时 120 和 150 cm 组之间,48 h 时 120 和 150 cm 组之间,72 h 时 120 和 150 cm 组、180 和 210 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他时间点不同生长高度王草的 NDF 降解率均有显著差异($P<0.05$)。快速降解部分 a 随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$),仅 210 和 240 cm 组之间未达到显著水平($P>0.05$);慢速降解部分 b 随着生长高度的增加呈现先增加后降低的趋势,180 cm 组最高,240 cm 组最低,除了 90、240 和 270 cm 组、150 和 210 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他生长高度之间差异显著($P<0.05$);潜在降解部分 a+b 随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$),其中 90 和 120 cm 组、150 和 180 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$);b 的降解速率 150 cm 组最高,120 cm 组最低,除了 90 和 120 cm 组、180 和 240 cm 组、210 和 270 cm 组之间未达到显著水平外($P>0.05$),其他生长高度之间差异显著($P<0.05$);有效降解率 ED 随着生长高度的增加而显著降低($P<0.05$),除了 120 和 150 cm 组、210 和 240 cm 组之间未达到显著水平($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 不同生长高度王草营养成分动态变化

本研究中,不同生长高度王草营养成分的变化规律与许多已报道结果类似,即随着生长时间的增加,植物由幼嫩逐渐成熟直至老化,干物质、有机物含量升高,粗蛋白含量逐渐下降,木质化程度逐渐增高,纤维物质含量明显增高,适口性降低,整体营养价值呈下降趋势。

表 5 不同生长高度王草蛋白质在瘤胃内的降解率和降解参数

Table 5 The ruminal crude protein degradability and dynamic degradation of Kinggrass at different plant heights in goat

项目 Item	生长高度/cm Plant height						
	90	120	150	180	210	240	270
降解率/% Degradability	51.64±3.72 ^a	44.25±3.70 ^b	38.61±5.43 ^c	32.32±5.04 ^d	25.36±3.94 ^e	20.50±2.38 ^f	14.39±1.13 ^g
	58.10±4.09 ^a	50.09±5.27 ^b	46.94±6.41 ^{bc}	42.83±3.13 ^c	31.62±4.76 ^d	27.66±2.07 ^e	19.68±1.30 ^e
	67.60±2.70 ^a	58.80±5.29 ^b	55.36±4.87 ^{bc}	49.21±4.25 ^c	37.76±2.99 ^d	31.52±2.40 ^e	24.10±0.52 ^f
	70.29±4.49 ^a	61.31±3.56 ^b	57.99±2.99 ^b	52.88±2.44 ^c	43.01±2.99 ^d	36.86±1.92 ^{de}	27.16±0.67 ^f
	75.31±4.35 ^a	64.62±4.25 ^b	61.01±5.99 ^{bc}	56.51±7.42 ^d	44.77±5.26 ^e	38.28±2.90 ^f	29.37±1.19 ^g
a	43.29±5.76 ^a	35.56±3.04 ^b	26.65±2.26 ^c	20.03±2.76 ^d	18.21±2.31 ^d	13.96±1.52 ^e	8.95±1.04 ^f
b	35.30±4.54 ^a	30.99±3.23 ^c	34.93±2.47 ^{ab}	36.47±3.90 ^a	29.76±3.89 ^c	26.39±4.76 ^d	22.07±0.62 ^e
a+b	78.58±3.23 ^a	66.55±4.35 ^b	61.58±2.31 ^c	56.49±3.47 ^d	47.97±5.40 ^e	40.35±4.54 ^f	31.03 ^g ±2.66 ^g
Degradation parameter c/(%/h)	0.045 ^e	0.054 ^b	0.071 ^a	0.073 ^a	0.047 ^c	0.053 ^b	0.051 ^b
ED	67.82±3.23 ^a	58.24±4.54 ^b	53.82±3.32 ^b	48.66±4.50 ^c	39.14±3.33 ^d	33.12±1.97 ^{de}	24.83±0.76 ^f

表 6 不同生长高度王草中性洗涤纤维在瘤胃内的降解率和降解参数

Table 6 The ruminal NDF degradability and dynamic degradation of Kinggrass at different plant heights in goat

项目 Item	生长高度/cm Plant height						
	90	120	150	180	210	240	270
降解率/% Degradability	35.92±3.12 ^a	28.78±1.69 ^b	27.52±0.99 ^b	22.58±1.22 ^c	18.66±1.21 ^d	13.58±1.09 ^e	9.02±0.86 ^f
	37.18±3.25 ^a	32.58±1.45 ^b	33.46±1.70 ^b	29.28±1.29 ^c	24.88±2.03 ^{cd}	18.32±1.23 ^e	14.24±0.47 ^f
	43.26±1.23 ^a	38.24±1.83 ^b	39.46±1.86 ^b	35.40±2.49 ^c	30.30±1.10 ^d	20.88±1.08 ^e	16.10±0.21 ^f
	44.98±3.41 ^a	39.88±4.38 ^b	41.34±2.62 ^b	38.40±2.10 ^c	34.22±2.93 ^d	24.42±1.59 ^e	19.30±1.37 ^f
	48.20±4.52 ^a	45.68±4.23 ^b	43.48±1.59 ^b	40.88±3.51 ^c	36.78±1.96 ^{cd}	25.36±2.43 ^e	21.02±0.21 ^f
a	32.30±2.45 ^a	25.76±2.35 ^b	18.11±1.15 ^c	14.31±0.44 ^d	10.21±1.17 ^e	9.08±0.85 ^e	5.30±1.10 ^f
b	16.63±3.81 ^d	21.06±3.12 ^c	24.7±1.83 ^b	27.58±1.49 ^a	25.60±1.89 ^b	16.32±1.34 ^d	16.96±0.59 ^d
a+b	48.94±4.33 ^a	46.82±3.07 ^a	42.81±2.33 ^b	41.88±2.24 ^b	35.81±1.47 ^c	25.40±1.22 ^d	22.27±0.49 ^d
Degradation parameter c/(%/h)	0.036 ^d	0.031 ^d	0.080 ^a	0.062 ^b	0.054 ^c	0.060 ^b	0.049 ^c
ED	43.01±1.27 ^a	38.64±2.97 ^b	37.87±1.47 ^b	29.55±1.67 ^c	23.54±1.23 ^d	21.31±1.17 ^d	13.74±1.53 ^e

饲用黑麦随生育期延长,其产草量不断增加,粗蛋白由 31.71% 下降至 9.60%,中性洗涤纤维由 36.89% 上升至 63.78%,酸性洗涤纤维由 17.56% 上升至 36.31%,饲用品质不断下降^[19]。王草粗蛋白随着株高的升高而降低,由 14.95% 下降至 7.84%,变化趋势与本研究相同^[20]。红三叶随着生长年限的增加,粗蛋白含量降低、酸性洗涤纤维含量增加,营养价值呈下降趋势^[21]。高丹草随着生育期的推后,粗蛋白含量迅速降低,而干草产量逐渐升高^[22]。不同生长阶段紫羊茅各营养物质的含量差异显著,随着生长阶段的推进粗蛋白含量呈下降趋势,中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维含量呈升高趋势^[23]。以上研究结果表明,植物本身的物质积累和化学成分含量存在一定的变化规律,选择合适的利用时期非常重要。本研究中王草主要营养成分含量与课题组前期研究工作中结果吻合^[24],与其他研究报道的结果略有差异^[20,25],营养成分含量的差异可能与生长环境、水肥条件、刈割茬次等因素有关,但这些差异均在正常范围以内。饲料相对值 RFV 是目前美国惟一广泛使用的粗饲料质量评定指数,本研究中王草生长高度为 180 cm 时 RFV 为 0.87,等级为 3 级,营养价值较高;超过 180 cm 后粗饲料等级由 3 级降低为 4 级或者更低,营养价值明显降低。根据粗蛋白等营养成分的变化规律和饲料相对值,王草生长高度低于 180 cm 时营养价值较高。

3.2 不同生长高度王草瘤胃降解特性

牧草 DM 的瘤胃降解率是影响干物质采食量的一个重要因素,反映牧草消化的难易程度,降解率高的牧草其动物的采食量可能也相应提高。本研究中不同生长高度王草的 DM 降解率差异较大,同一时间点随着生长高度增加降解率逐渐降低。另外,随着牧草在瘤胃中培养时间的增加,DM 的降解率逐渐增大,最终趋于稳定,符合粗饲料在瘤胃中降解的普遍规律。有学者对不同牧草的瘤胃降解特性进行了研究^[26],结果发现,DM 降解率高的牧草 a 值较高,接近 b 值或者大于 b 值,而 DM 降解率低的牧草 a 值要远小于 b 值,本研究结果符合这一规律,即随着生长高度增加,DM 的 a 值、潜在降解率和有效降解率却随之降低。牧草瘤胃降解率降低与其本身营养物质含量变化有关,而牧草收获时期决定了牧草的品质,随着生长周期的推后,牧草饲用品质下降,瘤胃降解率也随之降低。本研究中,不同生长高度王草干物质瘤胃降解率均低于已报道的王草

干物质瘤胃降解率^[27],可能与其采用的试验动物黄牛的消化能力较强有关。生长高度 180 cm 王草 DM 的瘤胃降解参数与已报道的同为狼尾草属牧草的象草的结果接近^[26,28]。另外,本研究中生长高度小于 180 cm 王草的 DM 有效降解率与主要禾本科粗饲料相比,高于玉米秸秆、羊草、披碱草、中华羊茅、多叶老芒麦、紫羊茅,与玉米秸秆青贮、虎尾草接近,低于全株玉米青贮、燕麦草、狗尾草等^[23,26,29-30],结果表明王草在适宜的生长高度收获利用,具有较高的 DM 瘤胃降解率。

蛋白质是评价饲料营养价值的重要指标之一,蛋白质的消化利用程度影响瘤胃微生物蛋白质的合成和氮在动物体内的沉积,与动物产品的质量紧密相关。牧草细胞壁中的纤维结构影响细胞内容物中蛋白质的降解,因此 CP 含量高低与其在瘤胃中降解率的高低可能存在差异,化学分析方法不能准确判断牧草 CP 实际消化情况,通过瘤胃降解能对其可利用性作出较准确的判断。有研究表明,牧草 CP 含量高有利于 CP 的降解,CP 的有效降解率与快速降解部分呈极显著强的正相关^[4-5]。学者对肉羊饲料营养成分与消化率相关性的研究表明,饲料 CP 的消化率与饲料中 CP 的含量呈极显著正相关,而与中性洗涤纤维(NDF)呈极显著负相关^[31]。紫羊茅随着生长阶段的推进,CP 的瘤胃有效降解率呈明显下降趋势,可能与纤维成分增加有关^[23]。本研究中,王草生长高度由低到高 CP 在瘤胃内各时间点的降解率、潜在降解率和 ED 随之降低,可能与 CP 含量降低,纤维类物质增加有关,随着植物的成熟老化,木质化程度加深影响氮的释放和分解,与上述研究结果一致。本研究中王草 CP 的瘤胃降解率、有效降解率高于已报道的王草和其他几种狼尾草属牧草^[24,27],低于同为狼尾草属牧草的象草的潜在降解率和 ED (90 cm 除外)^[26]。另外,本研究中生长高度小于 180 cm 王草的 CP 有效降解率与主要禾本科粗饲料相比,高于玉米秸秆、羊草、中华羊茅、紫羊茅、虎尾草,与披碱草、多叶老芒麦、全株玉米青贮、玉米秸秆青贮、燕麦草、狗尾草接近^[23,26,29-30],结果表明王草在适宜的生长高度收获利用,具有较高的 CP 瘤胃降解率。

纤维是反刍动物的一种必需营养素,与瘤胃正常功能和动物健康密切相关,中性洗涤纤维瘤胃降解率较准确的反映了饲料中纤维可利用程度,是评价反刍动物粗饲料营养价值的一个重要指标。饲料

NDF 的含量和组成会影响 NDF 的瘤胃降解率,所以不同粗饲料的瘤胃有效降解率也存在差异。有研究表明,饲料 NDF 的消化率与中性洗涤纤维(NDF)含量呈极显著负相关^[31]。另有研究发现,可以通过调节发酵底物水稻秸秆 NDF 的比表面积(Special surface areas, SSA)来调控瘤胃发酵和饲料利用^[32]。紫羊茅随着生长阶段的推进,NDF 的瘤胃有效降解率呈明显下降趋势,且 NDF 的有效降解率低于 DM、CP^[23]。本研究中,王草生长高度由低到高 NDF 瘤胃降解率随之降低,可能与植物成熟老化、纤维类物质含量和类型的变化有关,与上述研究结果一致。本研究中,生长高度小于 180 cm 王草的 NDF 瘤胃降解率高于玉米秸秆、全株玉米青贮、狼尾草属牧草、紫羊茅,与虎尾草、羊草、玉米秸秆青贮接近^[23,26,29-30],结果表明,与常用禾本科粗饲料相比,王草的 NDF 瘤胃降解率较高,生长高度小于 180 cm 时 NDF 可降解性更好。

值得注意的是不同研究条件下的粗饲料瘤胃降解结果有较大的差异,除了原料本身的差异如品种、产地、收获时期、采样方式、粉碎粒度等有关外,试验动物种类、生理状况及日粮类型等也可能造成这些差异,因此这些针对不同饲料采用不同动物进行的瘤胃降解试验的特定研究结果对指导当地畜牧生产有重要意义,但对于其他地区只能作为参考。

4 结 论

王草主要营养成分随生长高度增加而变化,其中 CP 随生长高度增加而降低,ADF、NDF 含量随生长高度增加而升高,180 cm 后粗饲料等级较低;不同生长高度王草瘤胃降解率在 48 h 前增长较快,48~72 h 间逐渐趋于稳定,降解速率由低到高再降低;各个时间点的 DM、CP 和 NDF 降解率随着生长高度的增加而降低;王草 DM、CP 和 NDF 的慢速降解部分在生长高度为 180 cm 时最高,降解速率在 150 或 180 cm 时最高;王草主要营养成分快速降解部分、潜在降解部分和有效降解率随生长高度而降低;综合主要营养成分含量、粗饲料等级和瘤胃降解特性,王草在生长高度低于 180 cm 时具有较高的营养价值。

参考文献 (References):

[1] 冯养廉. 反刍动物营养学[M]. 北京:科学出版社,2004:571-574.

- FENG Y L. Ruminant Nutrition[M]. Beijing: Science Press,2004:571-574. (in Chinese)
- [2] 李蕊超,林慧龙. 我国南方地区的粮食短缺问题浅析——基于两个草业生态经济区的研究[J]. 草业学报,2015,24(1):4-11.
- LI R C, LIN H L. Analysis of the problem of food shortage in Southern China based on the study of two grassland ecological-economic regions[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(1): 4-11. (in Chinese)
- [3] 吴鹏华,刘大森,全泳,等. 干酒糟及其可溶物和豆粕混合饲料蛋白质二级结构与瘤胃降解特性的关系[J]. 动物营养学报,2013,25(11):2763-2769.
- WU P H, LIU D S, TONG Y, et al. Relationship between protein secondary structure and rumen degradation characteristics of mixed feeds of distillers dried grains with solubles combined with soybean meal[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(11): 2763-2769. (in Chinese)
- [4] 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.
- LENG J, ZHANG Y, ZHU R J, et al. Rumen degradation characteristics of six types of forages in the Yunnan yellow cattle[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(1): 53-60. (in Chinese)
- [5] 刘海霞,刘大森,隋美霞,等. 羊常用粗饲料干物质和粗蛋白的瘤胃降解特性研究[J]. 中国畜牧杂志,2010,21:37-42.
- LIU H X, LIU D S, SUI M X, et al. Study on ruminant degradability properties of roughage DM and CP by Nylon Bag method[J]. *Chinese Journal of Animal Science*, 2010, 21: 37-42. (in Chinese)
- [6] ΦRSKOV E R, MCDONALD I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage [J]. *J Aar Sci*, 1979, 92(2): 499-503.
- [7] COBLENTZ W K, ABDELGADIR I E O, COCHRAN R C, et al. Degradability of forage proteins by *in situ* and *in vitro* enzymatic methods[J]. *J Dairy Sci*, 1999, 82(2): 343-354.
- [8] KAUR R, GARCIA S C, FULKERSON W J, et al. Degradation kinetics of leaves, petioles and stems of forage rape (*Brassica napus*) as affected by maturity [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2011, 168(3): 165-178.
- [9] EDMUNDS B, SUDEKUM KH, SPIEKERS H, et al. Estimating ruminal crude protein degradation of forages using *in situ* and *in vitro* techniques[J]. *Anim*

- Feed Sci Technol*, 2012, 175(3):95-105.
- [10] 刘国道,白昌军,王东劲,等. 热研4号王草选育[J]. 草地学报, 2002, 10(2):92-96.
LIU G D, BAI C J, WANG D J, et al. The selection and utilization of Reyan No. 4 King grass[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2002, 10(2):92-96. (in Chinese)
- [11] ELMORE R W, JACKOBS J A. Yield and yield components of sorghum and soybeans of varying plant heights when intercropped[J]. *Agron J*, 1984, 76(4):561-564.
- [12] 王永军,王空军,董树亭,等. 留茬高度与刈割时株高对墨西哥玉米产量及饲用品质的影响[J]. 作物学报, 2006, 32(1):155-158.
WANG Y J, WANG K J, DONG S T, et al. Effects of stubble height and clipped plant height on yield and forage quality of *Euchlaena mexicana*[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 32(1):155-158. (in Chinese)
- [13] NURFETA A, EIK L O, TOLERA A, et al. Chemical composition and *in sacco* dry matter degradability of different morphological fractions of 10 enset (*Ensete ventricosum*) varieties[J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2008, 146(1):55-73.
- [14] DONG C F, SHEN Y X, DING C L, et al. The feeding quality of rice (*Oryza sativa* L.) straw at different cutting heights and the related stem morphological traits[J]. *Field Crop Res*, 2013, 141:1-8.
- [15] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2010.
ZHANG L Y. Feed analysis and quality inspection technology[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2010. (in Chinese)
- [16] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. *J Dairy Sci*, 1991, 74(10):3583-3597.
- [17] ROHWEDER D A, BARNES R F, JORGENSEN N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality[J]. *J Anim Sci*, 1978, 47:747-759.
- [18] 李茂, 字学娟, 周汉林, 等. 海南省部分热带灌木饲用价值评定[J]. 动物营养学报, 2012, 24(1):85-94.
LI M, ZI X J, ZHOU H L, et al. Feeding value assessment of some tropical shrubs in Hainan province[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(1):85-94. (in Chinese)
- [19] 李志坚, 胡跃高. 饲用黑麦生物学特性及其产量营养动态变化[J]. 草业学报, 2004, 13(1):45-51.
LI Z J, HU Y G. Biological characteristics of *S. cereale* and its yield and nutrition dynamics[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2004, 13(1):45-51. (in Chinese)
- [20] 陈勇, 罗富成, 毛华明, 等. 施肥水平和不同株高刈割对王草产量和品质的影响[J]. 草业科学, 2009, 26(2):72-75.
CHEN Y, LUO F C, MAO H M, et al. The influence of fertilization and mowing height on King grass yield and quality[J]. *Pratacultural Science*, 2009, 26(2):72-75. (in Chinese)
- [21] 赵娜, 赵桂琴, 胡凯军, 等. 不同生长年限红三叶生产性能与营养价值比较[J]. 草地学报, 2011, 19(3):468-472.
ZHAO N, ZHAO G Q, HU K J, et al. Production performance and nutritive value comparison among Red Clover with different growth years[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2011, 19(3):468-472. (in Chinese)
- [22] 刘建宁, 石永红, 王运琦, 等. 高丹草生长动态及收割期的研究[J]. 草业学报, 2011, 20(1):31-37.
LIU J N, SHI Y H, WANG Y Q, et al. Growth dynamics and optimum harvest period of sorghum hybrid sudangrass[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(1):31-37. (in Chinese)
- [23] 刘太宇, 郑立, 李梦云, 等. 紫羊茅不同生长阶段营养成分及其瘤胃降解动态研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2013, 41(9):33-37.
LIU T Y, ZHENG L, LI M Y, et al. Nutrients and sheep rumen degradation dynamics of red fescue at different growth stages[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2013, 41(9):33-37. (in Chinese)
- [24] 李茂, 字学娟, 侯冠彧, 等. 体外产气法评价5种热带禾本科牧草营养价值[J]. 草地学报, 2013, 21(5):1028-1032.
LI M, ZI X J, HOU G Y, et al. Nutritional evaluation of five tropical gramineous forages[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2013, 21(5):1028-1032. (in Chinese)
- [25] 杨信, 黄勤楼, 夏友国, 等. 六种狼尾草营养成分及瘤胃降解动态研究[J]. 家畜生态学报, 2013, 34(5):56-60.
YANG X, HUANG Q L, XIA Y G, et al. Study on nutrient components and rumen degradability dynamics of six hybrid *Pennisetum*[J]. *Journal of Domestic Animal Ecology*, 2013, 34(5):56-60. (in Chinese)
- [26] 陈晓琳, 刘志科, 孙娟, 等. 不同牧草在肉羊瘤胃中的降解特性研究[J]. 草业学报, 2014, 23(2):268-

- 276.
- CHEN X L, LIU Z K, SUN J, et al. Ruminal degradability characteristics of different forages in sheep[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014, 23(2): 268-276. (in Chinese)
- [27] 陈 勇, 罗富成, 毛华明, 等. 不同株高刈割对王草营养价值及降解率的影响[J]. 贵州农业科学, 2010, (10): 74-76.
- CHEN Y, LUO F C, MAO H M, et al. Effects of different cutting height on nutrition value and degradation rate of *Pennisetum purpureum*[J]. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2010, (10): 74-76. (in Chinese)
- [28] 杨膺白, 郭 辉, 周 恒, 等. 山羊对不同饲草瘤胃干物质降解率的研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2007, 28(4): 26-27, 30.
- YANG Y B, GUO H, ZHOU H, et al. The study on dry matter degeneration rate of different forages in goat rumen[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2007, 28(4): 26-27, 30. (in Chinese)
- [29] 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.
- XIA K, YAO Q, LI F G, et al. Rumen degradation characteristics of commonly used roughages for dairy cows[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(4): 769-777. (in Chinese)
- [30] 余 苗, 钟荣珍, 周道玮, 等. 虎尾草不同生育期营养成分及其在瘤胃的降解规律[J]. 草地学报, 2014, 22(1): 175-181.
- YU M, ZHONG R Z, ZHOU D W, et al. Nutrient components and rumen degradability dynamics of *Chloris virgata* at different growth stages[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2014, 22(1): 175-181. (in Chinese)
- [31] 刘 洁, 刁其玉, 赵一广, 等. 肉用绵羊饲料养分消化率和有效能预测模型的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2012, 43(8): 1230-1238.
- LIU J, DIAO Q Y, ZHAO Y G, et al. Prediction of nutrient digestibility and energy concentrations using chemical compositions in meat sheep feeds[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2012, 43(8): 1230-1238. (in Chinese)
- [32] 刘 勇, 冉 涛, 谭支良, 等. 表面张力和比表面积对纤维体外发酵特性的影响[J]. 畜牧兽医学报, 2013, 44(6): 901-910.
- LIU Y, RAN T, TAN Z L, et al. Effects of surface tension and specific surface areas on *in vitro* fermentation of fiber[J]. *Acta Veterinaria et Zootechnica Sinica*, 2013, 44(6): 901-910. (in Chinese)

(编辑 郭云雁)