

构树不同部位与奶牛常用粗饲料 瘤胃降解特性对比研究

刘祥圣 王琳 宁丽丽 冯宝宝 林森 赵国琦*

(扬州大学动物科学与技术学院,扬州 225009)

摘要: 本试验旨在研究构树不同部位(构树叶、构树枝叶、构树枝)与奶牛常用粗饲料(苜蓿干草、燕麦草)的瘤胃降解特性。选用3只装有永久性瘤胃瘘管的中国荷斯坦奶牛,采用尼龙袋法测定5种饲料的干物质(DM)、粗蛋白质(CP)、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)瘤胃降解规律。结果表明:1)构树叶的CP含量显著高于苜蓿干草($P<0.05$),NDF含量显著低于苜蓿干草($P<0.05$);构树枝叶的CP含量与苜蓿干草差异不显著($P>0.05$),NDF含量显著低于苜蓿干草($P<0.05$);构树枝的CP含量与燕麦草差异不显著($P>0.05$),NDF含量显著高于燕麦草($P<0.05$)。2)5种饲料的DM有效降解率差异显著($P<0.05$),由高到低依次为构树叶、构树枝叶、苜蓿干草、燕麦草和构树枝。5种饲料的CP有效降解率差异显著($P<0.05$),由高到低依次为苜蓿干草、构树叶、构树枝叶、燕麦草和构树枝。构树叶的NDF有效降解率最高,显著高于其他4种饲料($P<0.05$),其中构树枝叶与燕麦草差异不显著($P>0.05$)。5种饲料的ADF有效降解率差异显著($P<0.05$),由高到低依次为构树叶、燕麦草、苜蓿干草、构树枝叶和构树枝。综上所述,构树不同部位具有作为奶牛非常规饲料资源的潜力。

关键词: 构树;营养成分;奶牛;尼龙袋技术;瘤胃降解率

中图分类号:S816.5;S823

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2019)08-3612-09

近年来,随着畜牧业的大力发展,耕地面积减少,饲料的供给矛盾日益突出。我国大豆进口量占总供给量的84%^[1],反刍动物饲养需要优质饲料,且目前多依赖国外进口。而我国的非常规饲料资源丰富,如何开发新型稳定的非常规饲料成为亟待解决的问题。我国的木本植物资源有1 000多种,大多品质优良,具备较高的营养价值^[2]。挖掘这些植物并发现其应用于反刍动物饲养的潜力,是缓解饲料资源紧缺压力的可行措施。

构树(*Broussonetia papyrifera*)为桑科构属落叶乔木,具有作为饲料资源、造纸原料、入药功能等多重经济价值,并且抗逆性强、耐干旱、耐污染、耐修剪,适应于各种类型的土壤。我国构树种植

面积约为30万亩(1亩 \approx 666.67 m³)^[3],在资源分布上具备一定的优势。小白鼠的亚急性毒理试验表明构树叶不具毒性^[4]。有研究报道,构树叶可部分替代猪和肉鸡的饲料原料^[5-6]。目前对构树资源的研究主要集中在构树叶,而对构树枝或全株构树的营养研究较少。尼龙袋技术作为国内外评定反刍动物饲料瘤胃降解率的常用方法^[7-9],可以反映饲料的营养价值。因此,本试验以构树不同部位(构树叶、构树枝叶、构树枝)与奶牛常用粗饲料(苜蓿干草、燕麦草)为研究对象,采用尼龙袋法评价其瘤胃降解特性的差异,以期对构树作为反刍动物饲料的利用提供一定的理论依据。

收稿日期:2019-01-24

基金项目:现代农业产业技术体系专项资金资助(CARS-36)

作者简介:刘祥圣(1995—),男,江苏扬州人,硕士研究生,动物营养与饲料科学专业。E-mail: 1157873319@qq.com

*通信作者:赵国琦,教授,博士生导师,E-mail: gqzhao@yzu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 饲料原料

构树不同部位样品采自江苏省扬州市邗江区, 选取高度约为 1.5 m 的构树, 并将构树分为构树叶、构树枝和未分离的构树枝叶; 苜蓿干草和燕麦草采自扬州大学草学研究所。5 种样品均于 9 月下旬足量采集并制备保存。分别将 5 种样品于 65 °C 烘干制成风干样, 使用 CM-100 粉碎机粉碎, 一部分过 2 mm 筛, 用于尼龙袋试验; 另一部分过 1 mm 筛, 并将 5 种样品各分为 3 份, 用于测定常规营养成分。

1.2 试验动物及饲料

试验选用 3 头体况良好、体重 (550±25) kg、装有永久性瘤胃瘘管、处于泌乳中后期的中国荷斯坦奶牛, 饲养于扬州大学试验农牧场。试验牛饲料精粗比为 40:60, 基础饲料组成及营养水平见表 1。产奶净能参照冯仰廉等^[10]方法计算。试验期间, 奶牛采用拴系饲养, 每天饲喂 2 次 (06:00 和 18:00), 自由饮水。

1.3 试验方法

各种饲料的常规营养成分选用采集的 3 份饲料样品进行测定, 每份饲料样品测定 3 个重复。尼龙袋试验选用孔径为 48 μm 的尼龙过滤布, 裁剪后使用涤纶线双道缝制, 制成尺寸为 8 cm×16 cm 的尼龙袋, 散边使用烙铁烫实, 洗净后放入恒温干燥箱 65 °C 烘干至恒重, 编号并记录相应尼龙袋质量。准确称取 5 g 样品放入对应尼龙袋中, 每个样品选用 3 头牛, 每头牛每个时间点设置 2 个重复, 尼龙袋以塑料软管固定, 于晨饲后 2 h 通过瘤胃瘘管送入瘤胃腹囊中。按照“同时放入, 依次取出”原则, 分别于放入后 4、8、12、24、36、48 和 72 h 取出, 样品取出后用冷水缓缓冲洗直至水澄清。尼龙袋洗净后从塑料软管取下, 放入恒温干燥箱 65 °C 烘干至恒重。烘干后将样品分装于自封袋中保存, 备测。

1.4 测定指标及方法

干物质 (DM) 含量采用 GB/T 6435—2014 的方法测定, 粗蛋白质 (CP) 含量采用 GB/T 6432—1994 的方法测定, 粗纤维 (CF) 含量采用 GB/T 6434—2006 的方法测定; 粗脂肪 (EE) 含量采用 GB/T 6433—2006 的方法测定, 粗灰分 (Ash) 含量采用 GB/T 6438—2007 的方法测定, 钙 (Ca) 含量

采用乙二胺四乙酸二钠络合滴定法 (GB/T 6436—2002) 测定, 磷 (P) 含量采用钼黄分光光度法 (GB/T 6437—2002) 测定。中性洗涤纤维 (NDF)、酸性洗涤纤维 (ADF)、酸性洗涤木质素 (ADL) 含量根据 Van Soest 等^[11]的方法, 采用 ANKOM-2000I 纤维分析仪进行测定。

表 1 基础饲料组成及营养水平 (干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	16.48
大麦 Barley	5.04
豆粕 Soybean meal	5.56
棉籽粕 Cottonseed meal	4.01
干酒糟及其可溶物 DDGS	6.36
食盐 NaCl	0.31
石粉 Limestone	0.32
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.36
小苏打 NaHCO ₃	0.36
预混料 Premix ¹⁾	1.20
燕麦草 Oat hay	6.29
苜蓿干草 Alfalfa hay	24.33
玉米青贮 Corn silage	29.38
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
产奶净能 NE _L /(MJ/kg)	6.27
粗蛋白质 CP	15.02
粗脂肪 EE	3.93
中性洗涤纤维 NDF	41.14
酸性洗涤纤维 ADF	22.06
钙 Ca	0.76
磷 P	0.48

¹⁾ 每千克预混料含有 One kilogram of premix contained the following: VA 300 000 IU, VD₃ 85 000 IU, VE 1 450 IU, 烟酸 nicotinic acid 550 mg, Cu 780 mg, Mn 930 mg, Fe 1 200 mg, Zn 3 600 mg, Se 21 mg, I 50 mg, Co 12 mg。

²⁾ 产奶净能为计算值, 其余均为实测值。NE_L was a calculated value, while the others were measured values.

1.5 计算公式

饲料样品某营养成分某时间点瘤胃降解率 (%) =

$$100 \times (\text{降解前该营养成分含量} - \text{降解后该营养成分含量}) / \text{降解前该营养成分含量}。$$

根据 Ørskov 等^[12]提出的模型计算动态降解

模型参数和有效降解率(ED):

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

$$ED(\%) = a + bc / (k + c).$$

式中: t 为饲料在瘤胃内的停留时间(h); P 为某营养成分在 t 时刻的瘤胃降解率(%); 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(%/h); ED 为饲料中某营养成分的有效降解率(%); k 为饲料中某营养成分的瘤胃外流速率(%/h),参考颜品勋等^[13] k 值取0.031%/h。

1.6 统计分析

数据使用Excel 2016整理,使用SAS 9.4中的NLIN程序计算 a 、 b 、 c 值,使用SPSS 25.0进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并用Duncan氏法进行多重比较检验,结果以平均值±标准差进行表示,以 $P < 0.05$ 作为差异显著性的判断标准。

2 结果

2.1 5种饲料的常规营养成分

由表2可知,构树叶的CP含量显著高于其他4种饲料($P < 0.05$),构树枝叶和苜蓿干草的CP含量显著高于构树枝和燕麦草($P < 0.05$)。构树枝的CF含量显著高于其他4种饲料($P < 0.05$);苜蓿干草和燕麦草的CF含量差异不显著($P > 0.05$),但

显著高于构树叶和构树枝叶($P < 0.05$)。5种饲料的NDF和ADF含量差异显著($P < 0.05$),由高到低依次为构树枝、燕麦草、苜蓿干草、构树枝叶和构树叶。5种饲料的ADL含量差异显著($P < 0.05$),由高到低依次为构树枝、苜蓿干草、构树枝叶、燕麦草和构树叶。构树叶的EE含量显著高于其他4种饲料($P < 0.05$);构树枝和苜蓿干草的EE含量差异不显著($P > 0.05$),但显著低于构树枝叶和燕麦草($P < 0.05$)。5种饲料的Ash含量差异显著($P < 0.05$),由高到低依次为构树叶、构树枝叶、苜蓿干草、燕麦草和构树枝。构树叶的Ca和P含量均显著高于其他4种饲料($P < 0.05$)。

2.2 5种饲料的DM瘤胃降解特性

由表3可知,在4、8和12 h,构树叶、构树枝叶和苜蓿干草的DM瘤胃降解率差异不显著($P > 0.05$),但均显著高于构树枝($P < 0.05$)。在36 h,除构树枝以外,其他4种饲料的DM瘤胃降解率均达到50%以上,构树枝的DM瘤胃降解率显著低于其他4种饲料($P < 0.05$),其中构树枝叶和苜蓿干草的DM瘤胃降解率无显著差异($P > 0.05$)。在48和72 h,5种饲料的DM瘤胃降解率差异显著($P < 0.05$),由高到低依次为构树叶、构树枝叶、苜蓿干草、燕麦草和构树枝。

表2 5种饲料的常规营养成分(干物质基础)

Table 2 Common nutrient composition of five kinds of feedstuffs (DM basis)

%

项目 Items	构树叶 Paper mulberry leaves	构树枝叶 Paper mulberry twigs and leaves	构树枝 Paper mulberry twigs	苜蓿干草 Alfalfa hay	燕麦草 Oat hay
干物质 DM	95.98±0.13 ^b	96.41±0.37 ^{ab}	96.68±0.28 ^a	94.30±0.35 ^c	92.27±0.56 ^d
粗蛋白质 CP	21.32±0.64 ^a	17.38±0.59 ^b	5.67±0.15 ^c	17.61±0.60 ^b	6.40±0.07 ^c
粗纤维 CF	15.72±1.24 ^d	23.29±2.77 ^c	42.72±0.91 ^a	29.89±1.97 ^b	30.61±0.85 ^b
中性洗涤纤维 NDF	25.62±1.21 ^e	34.24±1.10 ^d	58.87±0.79 ^a	46.54±0.58 ^c	56.37±0.03 ^b
酸性洗涤纤维 ADF	17.07±0.59 ^e	23.77±1.05 ^d	43.82±1.03 ^a	31.23±0.67 ^c	33.43±0.78 ^b
酸性洗涤木质素 ADL	2.69±0.39 ^e	6.58±0.45 ^c	15.86±0.65 ^a	7.84±0.26 ^b	5.45±0.43 ^d
粗脂肪 EE	4.41±0.17 ^a	3.09±0.27 ^b	1.54±0.17 ^d	1.60±0.10 ^d	2.15±0.07 ^c
粗灰分 Ash	15.25±0.21 ^a	13.07±0.52 ^b	5.79±0.22 ^c	8.38±0.23 ^c	7.64±0.12 ^d
钙 Ca	3.64±0.05 ^a	3.07±0.12 ^b	1.31±0.13 ^c	1.29±0.21 ^c	0.41±0.06 ^d
磷 P	0.44±0.01 ^a	0.38±0.01 ^b	0.34±0.02 ^c	0.25±0.01 ^d	0.23±0.02 ^d

同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$). The same as below.

从 5 种饲料的 DM 瘤胃降解参数可以看出, 燕麦草的 DM 快速降解部分最高, 达到 26.68%, 并且与苜蓿干草和构树叶无显著差异 ($P>0.05$); 构树枝的 DM 快速降解部分最低, 仅为 9.84%, 显著低于其他 4 种饲料 ($P<0.05$)。构树叶的 DM 慢

速降解部分显著高于其他 4 种饲料 ($P<0.05$)。5 种饲料的 DM 有效降解率差异显著 ($P<0.05$), 由高到低依次为构树叶、构树枝叶、苜蓿干草、燕麦草和构树枝。

表 3 5 种饲料的干物质瘤胃降解率及降解参数

Table 3 DM ruminal degradability and degradation parameters of five kinds of feedstuffs

项目 Items	构树叶 Paper mulberry leaves	构树枝叶 Paper mulberry twigs and leaves	构树枝 Paper mulberry twigs	苜蓿干草 Alfalfa hay	燕麦草 Oat hay
干物质瘤胃降解率 Ruminal degradability of DM/%					
4 h	35.17±2.61 ^a	32.85±4.03 ^a	17.13±2.27 ^b	34.39±0.98 ^a	32.54±2.10 ^a
8 h	42.99±3.66 ^a	41.16±3.54 ^a	20.12±1.24 ^c	41.87±3.02 ^a	35.74±1.69 ^b
12 h	50.33±0.71 ^a	48.61±2.11 ^a	23.14±2.20 ^c	47.77±1.58 ^a	38.81±0.79 ^b
24 h	70.73±3.14 ^a	66.27±1.82 ^b	35.54±2.37 ^c	60.95±0.78 ^c	48.48±2.73 ^d
36 h	78.27±1.90 ^a	70.49±1.80 ^b	43.55±4.85 ^d	67.16±2.03 ^b	54.85±2.17 ^c
48 h	81.29±1.27 ^a	73.05±2.28 ^b	49.51±1.10 ^c	69.58±1.68 ^c	59.86±2.10 ^d
72 h	84.61±1.18 ^a	76.67±0.69 ^b	52.87±1.08 ^c	71.65±3.01 ^c	63.17±1.74 ^d
干物质瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameter of DM					
a/%	20.50±3.74 ^{ab}	19.03±4.09 ^b	9.84±3.70 ^c	23.51±2.84 ^{ab}	26.68±4.76 ^a
b/%	65.96±4.03 ^a	57.89±3.66 ^b	50.47±1.76 ^c	49.28±3.78 ^{cd}	43.43±4.15 ^d
c/(%/h)	0.06±0.01 ^a	0.06±0.01 ^a	0.03±0.01 ^b	0.06±0.01 ^a	0.03±0.02 ^b
a+b/%	86.46±0.60 ^a	76.91±0.82 ^b	60.31±2.15 ^d	72.79±3.88 ^{bc}	70.11±5.96 ^c
有效降解率 ED/%	62.73±0.47 ^a	57.83±1.73 ^b	34.51±1.14 ^c	55.71±0.77 ^c	47.62±0.68 ^d

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, a+b 为潜在可降解部分。下表同。

a was rapidly degraded proportion, b was slowly degraded proportion, c was the degradation speed of slowly degraded proportion, and a+b was potentially degradable proportion. The same as below.

2.3 5 种饲料的 CP 瘤胃降解特性

由表 4 可知, 在 8 h, 苜蓿干草的 CP 瘤胃降解率达到 50% 以上, 并显著高于其他 4 种饲料 ($P<0.05$)。在 24 和 36 h, 构树叶、构树枝叶和苜蓿干草的 CP 瘤胃降解率无显著差异 ($P>0.05$), 但均显著高于燕麦草和构树枝 ($P<0.05$)。在 48 h, 苜蓿干草和构树叶的 CP 瘤胃降解率差异不显著 ($P>0.05$), 但均显著高于构树枝叶、燕麦草和构树枝 ($P<0.05$)。在 72 h, 构树叶的 CP 瘤胃降解率最高, 为 90.13%, 显著高于其他 4 种饲料 ($P<0.05$); 构树枝叶与苜蓿干草无显著差异 ($P>0.05$), 但均显著高于构树枝和燕麦草 ($P<0.05$)。

从 5 种饲料的 CP 瘤胃降解参数可以看出, 燕麦草的 CP 快速降解部分最高, 为 32.58%; 苜蓿干草和构树叶的 CP 快速降解部分无显著差异 ($P>0.05$); 构树枝的 CP 快速降解部分最低, 为

11.96%, 显著低于其他 4 种饲料 ($P<0.05$)。构树叶和构树枝叶的 CP 慢速降解部分差异不显著 ($P>0.05$), 显著高于其他 4 种饲料 ($P<0.05$); 燕麦草的 CP 慢速降解部分最低, 为 37.78%, 显著低于其他 4 种饲料 ($P<0.05$)。5 种饲料的 CP 有效降解率差异显著 ($P<0.05$), 由高到低依次为苜蓿干草、构树叶、构树枝叶、燕麦草和构树枝。

2.4 5 种饲料的 NDF 瘤胃降解特性

由表 5 可知, 在 8 和 12 h, 构树枝叶、苜蓿干草和燕麦草的 NDF 瘤胃降解率无显著差异 ($P>0.05$)。在 72 h, 构树叶的 NDF 瘤胃降解率显著高于其他 4 种饲料 ($P<0.05$), 构树枝叶和燕麦草的 NDF 瘤胃降解率差异不显著 ($P>0.05$)。构树枝各个时间点的 NDF 瘤胃降解率均显著低于其他 4 种饲料 ($P<0.05$)。

从 5 种饲料的 NDF 瘤胃降解参数可以看出,

构树叶的 NDF 快速降解部分最高,达到 5.85%,显著高于构树枝、苜蓿干草和燕麦草 ($P<0.05$)。构树叶的 NDF 慢速降解部分显著高于其他 4 种饲料 ($P<0.05$), 构树枝叶、苜蓿干草和燕麦草的 NDF 慢速降解部分差异不显著 ($P>0.05$); 构树枝的 NDF 慢速降解部分最低,为 46.37%。构树叶的

NDF 有效降解率最高,显著高于其他 4 种饲料 ($P<0.05$); 构树枝叶和燕麦草的 NDF 有效降解率无显著差异 ($P>0.05$); 构树枝的 NDF 有效降解率最低,仅为 18.15%,显著低于其他 4 种饲料 ($P<0.05$)。

表 4 5 种饲料的粗蛋白质瘤胃降解率及降解参数

Table 4 CP ruminal degradability and degradation parameters of five kinds of feedstuffs

项目 Items	构树叶 Paper mulberry leaves	构树枝叶 Paper mulberry twigs and leaves	构树枝 Paper mulberry twigs	苜蓿干草 Alfalfa hay	燕麦草 Oat hay
粗蛋白质瘤胃降解率 Ruminal degradability of CP/%					
4 h	35.74±2.85 ^{bc}	33.62±2.25 ^c	20.72±2.26 ^d	41.79±1.13 ^a	38.43±1.94 ^{ab}
8 h	46.91±1.93 ^b	41.74±2.80 ^c	26.03±2.28 ^d	52.43±3.27 ^a	41.89±1.55 ^c
12 h	53.40±0.40 ^b	48.39±1.71 ^c	30.09±1.08 ^c	59.77±1.64 ^a	44.94±1.12 ^d
24 h	71.04±2.40 ^a	69.10±1.77 ^a	43.95±3.49 ^c	73.84±1.73 ^a	53.54±2.78 ^b
36 h	81.53±1.51 ^a	78.05±1.00 ^a	50.12±2.69 ^c	81.30±2.40 ^a	60.34±1.36 ^b
48 h	85.39±0.99 ^a	80.09±0.81 ^b	53.28±1.46 ^d	83.62±0.91 ^a	62.53±1.54 ^c
72 h	90.13±1.57 ^a	86.75±0.90 ^b	56.92±1.42 ^d	84.88±1.42 ^b	65.95±1.67 ^c
粗蛋白质瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameter of CP					
a/%	23.45±4.38 ^{bc}	20.33±0.62 ^c	11.96±4.48 ^d	28.25±4.03 ^{ab}	32.58±4.66 ^a
b/%	68.75±4.27 ^a	68.19±0.39 ^a	47.82±3.37 ^c	57.52±5.33 ^b	37.78±0.64 ^d
c/(%/h)	0.05±0.01 ^{ab}	0.05±0.00 ^{ab}	0.04±0.02 ^b	0.07±0.01 ^a	0.04±0.02 ^b
a+b/%	92.20±1.45 ^a	88.52±0.54 ^{ab}	59.78±2.68 ^d	85.77±1.56 ^b	70.35±4.71 ^c
有效降解率 ED/%	65.75±0.31 ^b	62.01±0.71 ^c	39.87±0.82 ^c	67.59±0.29 ^a	52.41±0.81 ^d

表 5 5 种饲料的中性洗涤纤维瘤胃降解率及降解参数

Table 5 NDF ruminal degradability and degradation parameters of five kinds of feedstuffs

项目 Items	构树叶 Paper mulberry leaves	构树枝叶 Paper mulberry twigs and leaves	构树枝 Paper mulberry twigs	苜蓿干草 Alfalfa hay	燕麦草 Oat hay
中性洗涤纤维瘤胃降解率 Ruminal degradability of NDF/%					
4 h	14.58±0.90 ^a	9.95±1.12 ^c	4.96±0.56 ^d	11.93±0.46 ^b	9.91±1.41 ^c
8 h	21.24±2.99 ^a	16.69±3.46 ^b	7.52±0.91 ^c	16.88±1.64 ^b	16.56±0.78 ^b
12 h	26.80±1.68 ^a	22.96±2.58 ^b	9.75±0.78 ^c	23.06±1.81 ^b	24.58±1.77 ^{ab}
24 h	42.44±2.46 ^a	34.54±0.93 ^b	16.89±0.46 ^c	39.44±1.41 ^a	35.41±2.84 ^b
36 h	52.59±3.77 ^a	40.36±2.05 ^c	23.32±1.38 ^d	46.02±1.60 ^b	44.23±2.19 ^{bc}
48 h	59.20±2.35 ^a	45.40±2.35 ^c	28.61±0.97 ^d	50.02±1.39 ^b	47.00±1.92 ^{bc}
72 h	66.18±1.72 ^a	50.18±1.48 ^c	34.11±0.67 ^d	53.32±1.21 ^b	52.36±2.02 ^{bc}
中性洗涤纤维瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameter of NDF					
a/%	5.85±0.33 ^a	2.60±0.32 ^{ab}	1.28±1.09 ^b	1.01±0.71 ^b	1.00±4.26 ^b
b/%	67.00±1.94 ^a	49.61±1.19 ^{bc}	46.37±4.51 ^c	54.73±2.23 ^b	53.47±4.29 ^b
c/(%/h)	0.03±0.00 ^{bc}	0.04±0.01 ^{ab}	0.02±0.01 ^c	0.05±0.01 ^a	0.04±0.02 ^{ab}
a+b/%	72.85±2.27 ^a	52.21±1.44 ^{bc}	47.65±5.51 ^c	55.74±2.20 ^b	54.48±3.40 ^b
有效降解率 ED/%	40.27±0.54 ^a	31.14±1.38 ^c	18.15±0.27 ^d	33.98±0.40 ^b	32.52±0.89 ^c

2.5 5种饲料的 ADF 瘤胃降解特性

由表6可知,在4 h,构树枝的 ADF 瘤胃降解率最低,仅为3.89%,显著低于其他4种饲料($P < 0.05$)。在4、8、12和24 h,构树叶、苜蓿干草和燕麦草的 ADF 瘤胃降解率无显著差异($P > 0.05$)。在4、12和24 h,构树枝叶和苜蓿干草的 ADF 瘤胃降解率差异不显著($P > 0.05$)。构树枝各个时间点的 ADF 瘤胃降解率均显著低于其他4种饲料($P < 0.05$)。

从5种饲料的 ADF 瘤胃降解参数可以看出,构树叶的 ADF 快速降解部分最高,但与其他4种饲料无显著差异($P > 0.05$)。构树叶的 ADF 慢速降解部分最高,显著高于其他4种饲料($P < 0.05$);构树枝叶和苜蓿干草的 ADF 慢速降解部分差异不显著($P > 0.05$)。5种饲料的 ADF 有效降解率差异显著($P < 0.05$),由高到低依次为构树叶、燕麦草、苜蓿干草、构树枝叶和构树枝。

表6 5种饲料的酸性洗涤纤维瘤胃降解率及降解参数

Table 6 ADF ruminal degradability and degradation parameters of five kinds of feedstuffs

项目 Items	构树叶 Paper mulberry leaves	构树枝叶 Paper mulberry twigs and leaves	构树枝 Paper mulberry twigs	苜蓿干草 Alfalfa hay	燕麦草 Oat hay
酸性洗涤纤维瘤胃降解率 Ruminal degradability of ADF/%					
4 h	10.79±0.87 ^a	8.92±0.31 ^b	3.89±0.21 ^c	9.49±0.45 ^{ab}	10.22±1.68 ^{ab}
8 h	16.17±2.04 ^{ab}	14.34±1.20 ^b	7.27±0.35 ^c	17.77±0.57 ^a	15.14±0.67 ^{ab}
12 h	24.51±1.24 ^a	21.98±2.66 ^a	10.85±1.83 ^b	23.07±1.48 ^a	25.16±1.59 ^a
24 h	37.03±1.89 ^a	32.07±2.18 ^b	16.87±2.96 ^c	34.64±0.98 ^{ab}	35.91±2.52 ^{ab}
36 h	46.86±3.09 ^a	37.32±2.29 ^c	22.74±2.45 ^d	41.50±2.03 ^b	43.56±1.23 ^{ab}
48 h	53.35±3.10 ^a	42.84±2.38 ^c	27.21±1.12 ^d	43.97±1.33 ^c	48.73±1.50 ^b
72 h	60.14±0.93 ^a	46.60±0.30 ^c	30.73±1.76 ^d	47.32±1.85 ^c	51.30±1.58 ^b
酸性洗涤纤维瘤胃降解参数 Ruminal degradation parameter of ADF					
a/%	2.51±0.71	1.50±2.83	0.06±1.95	0.60±0.59	0.06±4.12
b/%	63.49±1.18 ^a	47.22±2.55 ^c	37.85±6.23 ^d	47.54±2.26 ^c	53.77±2.11 ^b
c/(%/h)	0.03±0.00 ^b	0.04±0.01 ^{ab}	0.03±0.01 ^b	0.05±0.01 ^a	0.05±0.01 ^a
a+b/%	66.00±1.64 ^a	48.72±1.32 ^b	37.91±7.65 ^c	48.13±2.70 ^b	53.84±2.49 ^b
有效降解率 ED/%	35.38±0.98 ^a	28.87±0.66 ^d	17.12±0.70 ^c	30.69±0.49 ^c	32.47±0.70 ^b

3 讨论

3.1 5种饲料的常规营养成分

本研究选用的5种饲料的各营养成分含量存在一定的差异。左鑫等^[14]测定了不同产地的构树叶和构树枝叶的营养成分含量,表明构树叶的 CP 含量为17.78%~26.47%,构树枝叶的 CP 含量为15.80%~17.89%。本试验测得的构树叶和构树枝叶的 CP 含量(分别为21.32%、17.38%)在其范围之内,说明江苏地区的构树 CP 含量与其他地区相似。与优质粗饲料苜蓿干草相比,构树叶的 CP 含量高于苜蓿干草,而构树枝叶与苜蓿干草相近,构树枝的 CP 含量较低并与燕麦草相当。因此,构树的 CP 含量能够达到常用粗饲料水平。构树叶的 CF 含量低于18%,根据饲料分类原则,不属于粗

饲料,这与左鑫等^[14]的研究结果一致。相反,构树枝叶和构树枝可以归属于粗饲料资源。构树叶和构树枝叶的 NDF 和 ADF 含量比苜蓿干草和燕麦草低,而构树枝的 NDF 和 ADF 含量高于苜蓿干草和燕麦草,这与屠焰等^[15]测定的结果不同,可能与构树的品种、产地、收获季节以及构树的生长高度有关。此外,构树枝叶和构树枝能够满足 NRC (2001)^[16]对泌乳奶牛饲料中 NDF 和 ADF 的推荐标准,说明构树枝叶和构树枝可作为奶牛粗饲料使用。构树枝的 ADL 含量最高,而构树叶最低,说明木本植物的枝条部分木质化程度较高。构树叶和构树枝叶 Ash 和 Ca 含量较高,这与屠焰等^[17]的研究结果相一致,另外,P 含量上与常用粗饲料无差异,因此在实际应用上应当注意 Ca 和 P 比例的协调。

3.2 5种饲料的DM瘤胃降解特性

DM瘤胃降解率作为干物质采食量(DMI)的重要影响参数,DM瘤胃降解率越高动物的DMI越大。在本试验中,不同饲料的DM瘤胃降解率表现出较大差异,其中苜蓿干草各个时间点的DM瘤胃降解率以及DM有效降解率与马健等^[18]的研究结果相一致,燕麦草的研究结果与刘艳芳等^[19]的研究结果相一致。构树叶各个时间点的DM瘤胃降解率均为最高,说明构树叶易于奶牛消化;构树枝叶和苜蓿干草在各个时间点的DM瘤胃降解率表现出一定的相似性,都表现为24h之前上升较快,之后趋于稳定,在DM有效降解率方面构树枝叶与苜蓿干草相当,说明构树枝叶与苜蓿干草都利于奶牛消化;而构树枝各个时间点的DM瘤胃降解率均为最低,并且在各个时间点上升幅度较缓,在DM有效降解率方面也低于燕麦草,说明构树枝的单独饲喂价值较低。从上述数据可以推测,奶牛对构树叶和构树枝叶的DMI要高于苜蓿干草和燕麦草,而构树枝的DMI相较于其他4种饲料最低。

3.3 5种饲料的CP瘤胃降解特性

CP瘤胃降解率主要受饲料蛋白质的含量、组成以及在瘤胃中滞留时间的影响^[20]。本试验中,苜蓿干草和燕麦草的CP有效降解率分别为67.59%和52.41%,这与前人的研究结果^[19]大致相同。在5种饲料中,构树叶的CP含量最高,与苜蓿干草相比,CP有效降解率也较高,能够达到优质牧草的水平。构树枝各个时间点的CP瘤胃降解率和CP有效降解率最低,说明构树枝的蛋白质不易被奶牛消化利用。Satter^[21]指出,饲料的CP瘤胃降解率受饲料本身性质的影响很大,快速降解部分、慢速降解部分和不易降解部分在不同饲料中比例不同。本试验中,构树枝叶和苜蓿干草的CP含量相当,但快速降解部分和慢速降解部分与苜蓿干草差异较大,并且苜蓿干草的CP有效降解率比构树枝叶更高,这说明CP瘤胃降解率受到饲料中的蛋白质含量、组成和在瘤胃滞留时间等多种因素的影响,单从饲料的化学分析方法无法准确判断饲料的营养价值,需要结合动物消化试验加以准确判断。

3.4 5种饲料的NDF和ADF瘤胃降解特性

饲料中NDF和ADF瘤胃降解率是评价饲料品质的重要指标,其值的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包括了植物细胞壁的大部分成分,主要有纤维素、半纤维素、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因素^[22-23]。从各种饲料的NDF和ADF快速降解部分均处于较低水平可以看出,饲料中的纤维类物质在瘤胃内难以被快速降解。本试验中,苜蓿干草与燕麦草的NDF和ADF有效降解率与前人的研究结果^[19]大致相同,构树叶各个时间点的NDF和ADF瘤胃降解率高于苜蓿干草和燕麦草,在NDF和ADF有效降解率方面也表现出相同规律,这说明构树叶的纤维类物质在瘤胃内相较于苜蓿干草和燕麦草更易于降解,这可能与饲料本身的纤维物质组成有关,构树叶的NDF、ADF和ADL含量相较于苜蓿干草和燕麦草更低。构树枝叶的NDF和ADF有效降解率与苜蓿干草相比差异较小,总体而言构树枝叶的NDF和ADF瘤胃降解率能够达到奶牛常用粗饲料所具有的水平。构树枝的NDF和ADF慢速降解部分以及有效降解率均低于苜蓿干草和燕麦草,这说明木本植物枝条中的纤维物质相较于豆科和禾本科牧草更难被瘤胃降解。从构树枝的NDF组成中得出构树枝中较高的ADL含量的是限制反刍动物消化利用的重要原因。

4 结论

① 构树不同部位中以构树叶的CP含量最高,且CF含量低于18%,具备较高的瘤胃降解率,可作为饲料蛋白质来源。

② 从DM、CP、NDF和ADF瘤胃降解率分析,构树枝叶有较好的瘤胃降解特性,具备粗饲料资源开发潜力。

③ 构树枝的NDF和ADF瘤胃降解率较低,主要在于木质素含量较高,可以进行适当的处理来进一步提高饲用价值。

参考文献:

- [1] 2018年10月国内外大宗饲料原料市场分析[J].中国饲料,2018(22):10-13.
- [2] 蔡小艳,曹树威,赖大伟,等.木本饲料的开发利用及研究现状[J].上海畜牧兽医通讯,2016(1):68-71.
- [3] 邳植,沈世华.构树作为新兴的蛋白饲料原料的研究[J].饲料工业,2018,39(11):23-28.

- [4] 赵峰, 刘丹, 黄所含, 等. 构树叶饲喂小白鼠的亚慢性毒性试验[J]. 粮食与饲料工业, 2006(6): 30-32.
- [5] 王永树, 江浩, 谢先中. 构树叶饲喂巴马香猪的效果试验[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(20): 194-195.
- [6] 吴健平, 卢雪芬, 夏中生, 等. 饲料中使用构树叶粉饲喂良凤花肉鸡的效果[J]. 畜牧与兽医, 2010, 42(12): 51-55.
- [7] 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]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 168(3/4): 165-178.
- [8] 赵连生, 牛俊丽, 徐元君, 等. 6 种饲料原料瘤胃降解特性和瘤胃非降解蛋白质的小肠消化率[J]. 动物营养学报, 2017, 29(6): 2038-2046.
- [9] 张微, 莫放. 原位尼龙袋技术在评价饲料营养价值中的应用与建议方案[J]. 动物营养学报, 2019, 31(1): 1-14.
- [10] 冯仰廉, 周建民, 张晓明, 等. 我国奶牛饲料产奶净能值测算方法的研究[J]. 中国畜牧杂志, 1987(1): 8-11.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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]. 动物营养学报, 1994, 6(2): 20-22.
- [14] 左鑫, 陈哲, 谢强, 等. 不同产地构树叶粉和构树枝叶粉营养成分及其鹅代谢能的测定[J]. 动物营养学报, 2018, 30(7): 2823-2830.
- [15] 屠焰, 刁其玉, 田莉, 等. 杂交构树营养成分瘤胃降解特点的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2009, 45(11): 38-41.
- [16] NRC. Nutrient requirements of dairy cattle [S]. 7th ed. Washington, D. C.: National Academy of Sciences, 2001.
- [17] 屠焰, 刁其玉, 张蓉, 等. 杂交构树叶的饲用营养价值分析[J]. 草业科学, 2009, 26(6): 136-139.
- [18] 马健, 刘艳芳, 杜云, 等. 禾王草与奶牛常用粗饲料瘤胃降解特性的对比研究[J]. 动物营养学报, 2016, 28(3): 816-825.
- [19] 刘艳芳, 马健, 都文, 等. 常规与非常规粗饲料在奶牛瘤胃中的降解特性[J]. 动物营养学报, 2018, 30(4): 1592-1602.
- [20] 冯仰廉. 反刍动物营养学 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [21] SATTER L D. Protein supply from undegraded dietary protein [J]. *Journal of Dairy Science*, 1986, 69(10): 2734-2749.
- [22] 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.
- [23] 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.

Comparison of Rumen Degradation Characteristics among Different Parts of Paper Mulberry and Commonly Used Roughages for Dairy Cows

LIU Xiangsheng WANG Lin NING Lili FENG Baobao LIN Miao ZHAO Guoqi*
(College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

Abstract: The aim of this study was to evaluate the rumen degradation characteristics of different parts of paper mulberry (paper mulberry leaves, paper mulberry twigs and leaves and paper mulberry twigs) and commonly used roughage (alfalfa hay and oat hay) for dairy cows. Three Chinese Holstein cows with permanent ruminal cannulas were used to evaluate the ruminal degradability of dry matter (DM), crude protein (CP), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) by nylon-bag technique. The results showed as follows: 1) the CP content in paper mulberry leaves was significantly higher than that in alfalfa hay ($P < 0.05$), while the NDF content was significantly lower than that in alfalfa hay ($P < 0.05$). There was no significant difference in CP content between paper mulberry twigs and leaves and alfalfa hay ($P > 0.05$), while the NDF content in paper mulberry twigs and leaves was significantly lower than that in alfalfa hay ($P < 0.05$). There was no significant difference in CP content between paper mulberry twigs and oat hay ($P > 0.05$), while the NDF content in paper mulberry twigs was significantly higher than that in oat hay ($P < 0.05$). 2) There was significant difference in the DM effective degradability among five kinds of feedstuffs ($P < 0.05$), and from high to low were paper mulberry leaves, paper mulberry twigs and leaves, alfalfa hay, oat hay and paper mulberry twigs. There was significant difference in the CP effective degradability among five kinds of feedstuffs ($P < 0.05$), and from high to low were alfalfa hay, paper mulberry leaves, paper mulberry twigs and leaves, oat hay and paper mulberry twigs. The NDF effective degradability of paper mulberry leaves was the highest, and significantly higher than that of other four feedstuffs ($P < 0.05$), but there was no significant difference in NDF effective degradability between paper mulberry twigs and leaves and oat hay ($P > 0.05$). There was significant difference in the ADF effective degradability among five kinds of feedstuffs ($P < 0.05$), and from high to low were paper mulberry leaves, oat hay, alfalfa hay, paper mulberry twigs and leaves and paper mulberry twigs. In conclusion, different parts of paper mulberry have potential value for unconventional feed resources in dairy cows. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(8):3612-3620]

Key words: paper mulberry; nutrition composition; dairy cows; nylon-bag technique; ruminal degradability