

DOI:10.11829/j.issn.1001-0629.2017-0529

杨苏茂,熊康宁,刘兴宜,郭文,喻阳华,池永宽,许留兴.晾晒方式对构树失水速率及饲用价值的影响.草业科学,2018,35(5):1170-1178.

Yang S M, Xiong K N, Liu X Y, Guo W, Yu Y H, Chi Y K, Xu L X. Effect of different drying methods on water loss rate and nutritional value of *Broussonetia papyrifera*. Pratacultural Science, 2018, 35(5): 1170-1178.

晾晒方式对构树失水速率及 饲用价值的影响

杨苏茂¹, 熊康宁¹, 刘兴宜¹, 郭文¹, 喻阳华¹, 池永宽¹, 许留兴²

(1. 贵州师范大学喀斯特研究院/国家喀斯特石漠化防治工程技术研究中心, 贵州 贵阳 550001;

2. 华南农业大学林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要: 构树(*Broussonetia papyrifera*)是桑科木本植物,因其蛋白质含量较高而被西南地区广泛用于饲料加工业。以构树不同晾晒方式进行干草调制研究,探讨其失水速率及饲用价值变化,以优化构树干草调制方法,保存青饲料的营养成份,替代青饲料或精饲料。采用聚类分析将 23 种干燥方法分为快速干燥、中速干燥和慢速干燥 3 类,从平均水分散失量中发现堆小垛后晾晒能提高水分散失速率,干燥最快的方法是压扁+10 cm 切短。基于因子分析的饲用价值计算发现,最适的构树干草调制方式是 6 cm 切短+2% K₂CO₃,其饲用价值得分可达 0.514。若采用破坏茎干结构与喷洒 K₂CO₃ 组合方式,应选择切短方式减小维管束出露面积,以提升饲用价值。

关键词: 构树;干草调制;干燥方式;聚类分析;干燥速率;因子分析;饲用价值

中图分类号:S816.15

文献标志码:A

文章编号:1001-0629(2018)05-1170-09*

Effect of different drying methods on water loss rate and nutritional value of *Broussonetia papyrifera*

Yang Su-mao¹, Xiong Kang-ning¹, Liu Xing-yi¹, Guo Wen¹,

Yu Yang-hua¹, Chi Yong-kuan¹, Xu Liu-xing²

(1. School of Karst Science, Guizhou Normal University/State Engineering Technology Institute for Karst Desertification Control, Guiyang 550001, Guizhou, China;

2. College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

Abstract: *Broussonetia papyrifera* is a woody plant species in the family Moraceae, and due to its high protein content is widely used in the feed industry in southwest China. To examine the differences in drying methods for hay production, we investigated water loss rates and nutritional value of *B. papyrifera* as an example to optimize the available technologies to achieve preservation of nutrients for substituting succulent feeds or concentrates. In the article, we present the results of cluster analysis of 23 drying methods, sub-divided into three groups: quick drying, medium-speed drying, and slow drying. Water loss rate could be improved in small stacks, and the fastest way of drying was squashing and cutting the plant material to a length of 10 cm. Based on calculated feeding values of a factor analysis, we found that the optimal method was cutting of plant material

* 收稿日期:2017-10-09 接受日期:2018-01-23

基金项目:国家“十三五”重点研发计划课题“喀斯特高原石漠化综合治理生态产业模式与技术集成示范”(2016YFC0502607);贵州省研究生教育创新计划项目“贵州省熊康宁喀斯特环境研究生导师工作室”(黔教研合 GZS 字[2016]04 号)

第一作者:杨苏茂(1991-),女,四川内江人,在读硕士生,主要从事喀斯特地区干草调制与牛羊饲喂研究。E-mail:1015027640@qq.com

通信作者:熊康宁(1958-),男,贵州威宁人,教授,博导,硕士,主要从事喀斯特地貌与洞穴、世界自然遗产、石漠化生态治理研究。
E-mail: xiongkn@163.com

to 10 cm pieces and applying a 2% K_2CO_3 treatment, achieving a score of 0.514. When the stem structure was destroyed by applying a treatment of spraying K_2CO_3 , the cutting method further decreased the superficial area of the vascular bundle, which enhanced the feeding value.

Key words: *Broussonetia papyrifera*; hay making; drying method; cluster analysis; drying rate; factor analysis; feeding value

Corresponding author: Xiong Kang-ning E-mail: xiongkn@163.com

构树(*Broussonetia papyrifera*)别名楮树,是桑科木本植物,具灌木与乔木形态,叶被毛,果实含糖,具有较宽的生态幅,耐干旱贫瘠,根系发达。我国早在20世纪60年代开展了构树的林业研究,目前已延伸至遗传育种^[1]、饲料加工^[2]、分子识别^[3]等应用领域,随着畜牧业的发展,人畜争粮现象日益凸显,畜牧业开始重视对构树的开发利用。构树细嫩枝条粗蛋白含量为17.78%,干物质瘤胃降解率高达88.89%^[4],高蛋白和易降解的特性促进了构树饲料化的研究,但关于构树的干草调制鲜见报道,选用构树进行干草调制,对高效合理利用植物资源、缓解粮饲危机、改善饲草季节性失衡、提高家畜生产效率具有巨大意义^[5-6]。

干草调制研究最先起源于瑞典^[7],发展至今比较注重刈割时期^[8-9]、刈割高度^[10]、调制方式^[11]、贮藏方式^[12-13]的研究,更加刺激了干草调制向原料研究的多元化发展。干草营养物质比较全面,尤其是维生素、微量元素丰富,作为草食家畜日粮中必不可少的重要组成成分,适当饲喂对反刍动物具有积极影响^[14]。饲喂单一干草可提高家畜采食量、干物质摄入量、活重和屠宰率^[15-16],而饲喂混合干草由于营养成分、混合比例、原料交互作用等影响,可作为平衡饲料^[17],促进内脏发育^[18]。国外关于干草的饲用价值研究多是直接进行反刍动物试验,再检验其生理生化指标,具有较高的可信度,但研究尺度比较微观,难以拓展到宏观应用层面,因此,探讨一个适用于更广泛地区的饲用价值理论测定方法,在生产上具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 干草原料

研究区位于喀斯特高原峡谷中度—重度石漠化地区,水热资源丰富,生态环境极度脆弱^[19]。构树作为石漠化逆境条件下的优势种^[20],因此干草原料选择野生构树的幼嫩枝条部分,于始花期采摘,按照不同调制方法迅速进行加工处理,然后水泥地晾晒。

1.2 试验设计

采用正交法设计晾晒试验,采用压扁、切短和喷洒

K_2CO_3 3个处理方式对构树进行干燥处理,其中压扁处理为探讨破坏维管束初生木质部结构对干草调制的影响,故设2个水平,即90 kg压扁和未压扁,切短和喷洒 K_2CO_3 2个因素中各设置3个水平,每种处理设3个平行。晾晒时间为2017年5月12日和13日。室内试验分析采用化学分析法。

1.3 干草调制

将构树标为 $HG_1 \sim HG_{23}$,采用压扁、切短和喷洒 K_2CO_3 3种处理方法,其中 $HG_1 \sim HG_8$ 表示3种方法单独使用, $HG_9 \sim HG_{23}$ 为3种方法两两正交(表1)。选用 K_2CO_3 作为干燥剂,喷洒量为 $30 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$,设置1%、2%、3% 3个浓度作为化学处理。而压扁处理和切短处理分别作为物理方法中的破坏茎干纵截面和破坏茎干横截面的方法,其中压扁设0 kg和90 kg两个处理,0 kg是不做压扁处理,90 kg是利用90 kg重物将原料平摊在水泥地上压30 s至水分渗出,切短处理分别设为2、6、10 cm,范围值为 $\pm 1 \text{ cm}$ 。每个处理鲜重为300 g,每间隔1 h称重一次,连续监测6 h。

1.4 指标测定及方法

晾晒完成后在实验室进行干物质(DM)、粗灰分(Ash)、钙(Ca)、磷(P)、粗纤维(CF)、酸性洗涤纤维(ADF)、中性洗涤纤维(NDF)的测定^[21]。DM采用103℃烘干法^[22],Ash采用550℃灼烧法^[23],Ash测量后加 $3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ HCl}$ 10 mL,煮沸加数滴浓硝酸制成试液,以便进行Ca和P的测定,选用EDTA法测Ca含量^[24],采用分光光度法测定P含量^[25],过滤法测定CF^[26],ADF和NDF的测定采用范氏洗涤纤维分析法^[27-28]。

1.5 数据分析

采用Excel统计分析软件进行数据收集和预处理,利用SPSS22软件对所测数据进行统计分析,用单因素方差分析法整理3个平行数据,采用聚类分析法对23种不同调制方式下构树干草的干燥平均速率进行整合与处理,采用聚类分析法对各干燥方法进行统计与分析,选择因子分析法对筛选的营养成分指标进行运算。

表 1 干草调制的处理方法
Table 1 Processing method of hay making

编号 Code	压扁 Squashing		切短 Cutting short			喷洒 K ₂ CO ₃ Spraying K ₂ CO ₃		
	0 kg	90 kg	2 cm	6 cm	10 cm	1%	2%	3%
HG ₁	1	0	0	0	0	0	0	0
HG ₂	0	1	0	0	0	0	0	0
HG ₃	0	0	1	0	0	0	0	0
HG ₄	0	0	0	1	0	0	0	0
HG ₅	0	0	0	0	1	0	0	0
HG ₆	0	0	0	0	0	1	0	0
HG ₇	0	0	0	0	0	0	1	0
HG ₈	0	0	0	0	0	0	0	1
HG ₉	0	1	1	0	0	0	0	0
HG ₁₀	0	1	0	1	0	0	0	0
HG ₁₁	0	1	0	0	1	0	0	0
HG ₁₂	0	1	0	0	0	1	0	0
HG ₁₃	0	1	0	0	0	0	1	0
HG ₁₄	0	1	0	0	0	0	0	1
HG ₁₅	0	0	1	0	0	1	0	0
HG ₁₆	0	0	0	1	0	1	0	0
HG ₁₇	0	0	0	0	1	1	0	0
HG ₁₈	0	0	1	0	0	0	1	0
HG ₁₉	0	0	0	1	0	0	1	0
HG ₂₀	0	0	0	0	1	0	1	0
HG ₂₁	0	0	1	0	0	0	0	1
HG ₂₂	0	0	0	1	0	0	0	1
HG ₂₃	0	0	0	0	1	0	0	1

“1”表示选用该方法,“0”表示不选用该方法。
“1” indicate use of the respective method; “0” indicate that the method was not applied.

聚类分析是研究多要素事物分类问题的数量方法,依据分析结果可判断干燥方法得到影响和分类。采用欧式距离法计算,欧氏距离是在多维空间中两个点之间的真实距离,体现不相似性,以确定样本之间的亲疏关系。

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2}, i, j = 1, 2, \cdots, m.$$

式中: d_{ij} 为欧式距离; n 为空间维数; k 为 n 维空间中点的个数; x 为 n 维空间中的点; i 为行数; j 为列数; m 为总行列数。

根据研究目的,空间性状呈压缩状态,适合选择最短距离法进行聚类分析,从 23×23 的矩阵降为 2×2 矩阵,每次省略非对角元素中欧氏距离最小者所在位置的行列,其计算公式如下:

$$d_{rk} = \min\{d_{pk}, d_{qk}\} \quad (k \neq p, q)$$

式中: d_{rk} 为距离矩阵; k 为新生成的非对角元素中最小值形成的矩阵行数序号; r 为剩余矩阵行数序号;

d_{pk} 为每次聚类产生的非对角元素中最小值对应行号的欧氏距离; d_{qk} 为每次聚类产生的非对角元素中最小值对应列号的欧氏距离; p 为最小值行号; q 为最小值列号。

关于饲用价值采用因子分析法进行分析计算,最后将得分进行排序。首先计算因子贡献率,然后利用 $l_{ij} = p(z_i, x_j) = \sqrt{\lambda_i} e_{ij} (i, j = 1, 2, \cdots, p)$ 和 $l_{ij} = p(z_i, x_j) = \sqrt{\lambda_i} e_{ij} (i, j = 1, 2, \cdots, p)$ 计算因子载荷,得到各主成分的载荷以后,经进一步计算,得到各主成分的得分与总得分(表 5)。如果设原来的变量指标为 $x_1, x_2, \cdots, x_p$,他们的综合指标 $z_1, z_2, \cdots, z_m (m \leq p)$,则:

$$\begin{cases} z_1 = l_{11}x_1 + l_{12}x_2 + \cdots + l_{1p}x_p \\ z_2 = l_{21}x_1 + l_{22}x_2 + \cdots + l_{2p}x_p \\ \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \\ z_m = l_{m1}x_1 + l_{m2}x_2 + \cdots + l_{m1p}x_p \end{cases}$$

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix}$$

式中: z_{ij} 为因子载荷; z_i 为第*i*个因子; x_j 为矩阵中第*j*个值; λ_i 为特征值; e_{ij} 为特征值的特征向量; p 为总行列数; m 为总因子数; n 为总变量个数; z 为因子得分; z 为因子综合得分。

2 结果与分析

2.1 不同干燥方式下构树枝条的失水速率

2.1.1 干燥方法的聚类分析 失水速率是失水量与晾晒时间的比值,反映了单位时间内饲草干燥的速度。基于失水速率进行聚类分析,以判断各种干燥处理下的干燥速度及分类特点。使用 Q 型聚类对 23 种干燥方法进行分类,在不同的聚类距离下,聚类结果不同,当距离标准逐渐放大时,23 个单元依次被聚类,随着距离的增加,被聚类的类数逐渐减小(图 1)。选择距离为 22,23 种干燥方法被聚为 3 类,第 1 类 2 种干燥方法,第 2 类 4 种干燥方法,第 3 类共 17 种干燥方法。

按失水速率由快到慢排序,干燥类型被分为 3 类,分别为快速干燥、中速干燥和慢速干燥。快速干燥的特点是 4 个干燥方法全部进行过压扁茎干处理,其平均失水速率为 35.51 g·h⁻¹,干燥最快的 4 个处理方式分别是压扁+10 cm 切短、压扁+2 cm 切短、压扁+1% K₂CO₃、压扁+2% K₂CO₃,可见对茎干做纵截面上的破坏更有利于水分散失,但压扁+切短组合的处理方式中,10 cm 长度失水速率高于 2 cm 长度,可能是由于构树含水量较高,同时做茎干横截面和纵截面的处理容易造成汁液渗出过多,浸入叶片内部,影响水分散失,因此对于水分含量较高的饲草进行压扁+切短组合晾晒时切短长度不宜太短,以 10 cm 为宜。中速干燥处理方式最多,茎干形态全部遭到破坏,

平均失水速率为 33.62 g·h⁻¹,中速干燥中干燥最快的 3 个处理分别是 2 cm 切短+3% K₂CO₃、2 cm 切短、2 cm 切短+2% K₂CO₃,3 个处理均为 2 cm 切短处理,在破坏茎干横截面的处理中,茎干越短干燥时间越快,但关于 K₂CO₃ 的添加量上,认为 3% 的添加可使水分散失更快,不同于周娟娟等^[11]对苜蓿(*Medicago sativa*)青干草处理的 2.5%。慢速干燥平均失水速率最慢,为 29.91 g·h⁻¹,茎干保存完好,其中喷洒 2% K₂CO₃ 的处理较直接晾晒干燥更快。

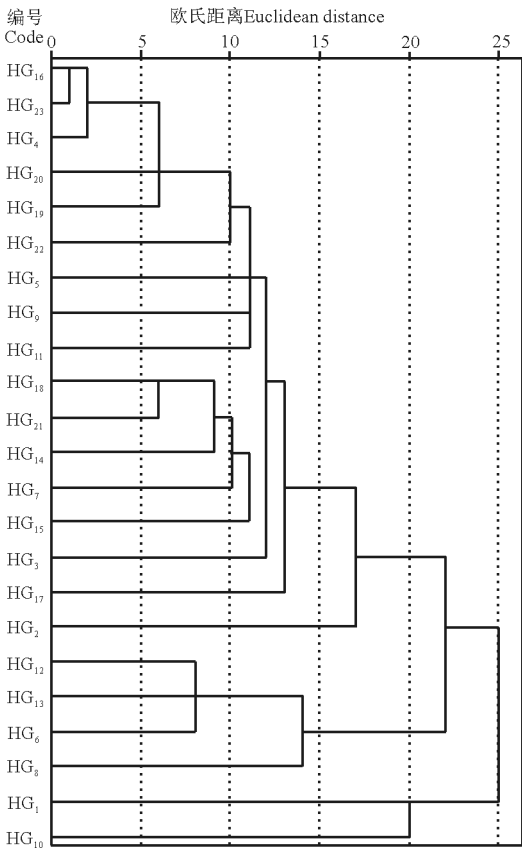


图 1 聚类分析图
Fig. 1 Cluster analysis

编号同表 1。
Codes are same as Table 1.

表 2 干燥方法类型
Table 2 The types of drying methods

类型 Type	比重 Proportion	失水速率排序(大→小) Water loss rate rand(big→small)
快速干燥 Quick drying	17.39%	HG ₁₁ >HG ₉ >HG ₁₂ >HG ₁₃
中速干燥 Medium drying	73.91%	HG ₂₁ >HG ₃ >HG ₁₈ >HG ₂₀ >HG ₁₄ >HG ₁₇ >HG ₁₀ >HG ₁₅ >HG ₂₂ > HG ₂ >HG ₂₃ >HG ₁₆ >HG ₅ >HG ₁₉ >HG ₄ >HG ₆ >HG ₈
慢速干燥 Slow drying	8.70%	HG ₇ >HG ₁

2.1.2 不同晾晒方式对失水速率的影响 将 3 类干燥方式各时间段水分散失量进行算数平均计算,结果表明,晾晒 1 h 后快速干燥速度与水分散失量呈正相关关系(图 2),干燥速度越快,水分散失越多。初始水分含量约 75%,晾晒 6 h 后含水量约 20%,达到安全含水量^[29]。随晾晒时间推移,水分散失量越来越小,但在 5 h 时,出现一个小高峰,水分散失量突然增大,可能是由于干草夜晚堆小垛后呼吸作用产生水分,使得第 2 天晾晒初期水分散失量增大。堆小垛后晾晒可加速水分的散失,但此方法能否提升干草品质尚待进一步研究。

2.2 不同干燥方式下构树枝条的饲用价值

2.2.1 不同晾晒方式对营养成分的影响 不同处理方式之间的营养成分存在差异(表 3),其中 HG₉、

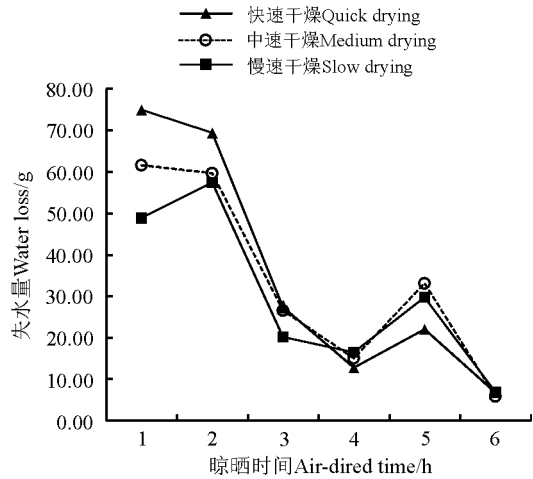


图 2 3 类干燥方法失水量情况
Fig. 2 Water loss in three different methods of drying

表 3 构树枝条营养成分
Table 3 Nutrient content of *Broussonetia papyrifera*

编号 Number	干物质 Dry matter/ %	粗蛋白 Crude protein/%	粗脂肪 Crude fat/%	粗纤维 Crude fibre/%	粗灰分 Crude ash/%	无氮浸出物 Nitrogen free extract/%
HG ₁	71.56±3.46def	20.12±0.07fg	9.46±0.27e	38.86±1.07bc	11.93±0.25abc	19.63±1.66fgh
HG ₂	76.81±3.93abcde	20.66±0.38ef	7.50±0.29h	34.71±0.98def	10.82±0.18fgh	26.31±1.84cde
HG ₃	77.42±3.01abcde	19.70±0.40fgh	8.24±0.14gh	31.06±0.61ghi	10.92±0.24efgh	30.08±1.39bcd
HG ₄	72.83±1.75de	21.20±0.69e	8.91±0.53efg	32.56±0.90fgh	11.28±0.16cdef	26.05±2.28cde
HG ₅	73.69±1.93cde	22.47±0.27cd	8.46±0.27fgh	34.59±1.50def	11.75±0.14abcd	22.73±2.18efg
HG ₆	75.93±2.89abcde	19.70±0.40fgh	13.61±0.35bc	38.16±1.25c	11.69±0.40abcde	16.84±2.40hi
HG ₇	75.31±2.36abcde	18.90±0.52hj	12.54±0.31d	23.76±1.02kl	11.59±0.34abcde	33.21±2.19b
HG ₈	70.98±0.58ef	21.45±0.26e	12.45±0.26d	36.54±0.89cde	11.63±0.08abcde	17.93±1.48ghi
HG ₉	81.92±1.11a	20.04±0.02fg	9.25±0.14ef	29.61±0.93hi	10.40±0.23gh	30.70±1.33bc
HG ₁₀	81.50±0.87ab	18.39±0.23i	8.01±0.01gh	22.60±0.92l	10.19±0.11h	40.81±1.26a
HG ₁₁	80.40±1.39abc	22.54±0.31c	7.62±0.36h	41.46±0.84b	11.42±0.24bcdef	16.96±1.76hi
HG ₁₂	80.43±1.15abc	22.58±0.33c	13.17±0.10bcd	33.85±1.07efg	12.13±0.08ab	18.27±1.58ghi
HG ₁₃	81.22±1.73ab	23.09±0.05bc	12.88±0.51cd	30.21±0.70hi	10.98±0.28defg	22.84±1.54efg
HG ₁₄	81.19±0.69ab	19.45±0.26gh	13.67±0.39bc	41.44±0.83b	12.22±0.13a	13.22±1.61i
HG ₁₅	72.39±1.38de	23.32±0.18bc	12.48±0.28d	38.07±1.20c	10.42±0.24gh	15.71±1.9hi
HG ₁₆	74.47±2.58bcd	20.12±0.06fg	15.67±0.39a	47.00±1.15a	11.61±0.35abcde	5.60±1.96j
HG ₁₇	75.36±3.09abcde	24.35±0.20a	13.61±0.35bc	16.43±0.83jk	10.96±0.27efg	34.65±1.65def
HG ₁₈	77.31±1.33abcde	21.54±0.31de	13.05±0.029cd	28.83±1.36ij	9.37±0.21i	27.21±1.91cde
HG ₁₉	67.21±4.48ef	23.62±0.36ab	12.68±0.39cd	38.80±1.04bc	10.99±0.28defg	13.91±2.07hi
HG ₂₀	70.25±0.14ef	21.50±0.29de	12.33±0.19d	37.43±0.83cd	12.24±0.14a	16.50±1.44hi
HG ₂₁	78.88±1.66abcd	24.36±0.21a	13.60±0.35bc	44.66±1.26a	10.81±0.18fgh	6.57±1.99j
HG ₂₂	65.09±0.63f	24.33±0.19a	14.11±0.06b	21.18±0.68l	11.49±0.28abcdef	28.89±1.22bcd
HG ₂₃	70.45±0.26ef	21.57±0.33de	12.50±0.29d	28.80±1.04ij	12.26±0.15a	24.87±1.81def

同列不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。
Different lowercase letters within the same column indicate significant differences between different treatments at the 0.05 level.

HG₁₀ 和 HG₁₃ 的干物质含量最高, HG₂₁、HG₁₇ 和 HG₂₂ 粗蛋白含量最高, 在 24% 以上, HG₁₆ 和 HG₂₂ 粗脂肪含量较高。综上, 采用切短+喷洒 K₂CO₃ 方式处理的构树枝条营养价值普遍偏高, 其中切短 2、6 和 10 cm 且对应添加 3%、1% 和 3% K₂CO₃ 效果最好。

2.2.2 不同晾晒方式对饲用价值的影响 选取 Ca、P、DM、CP、EE、CF、Ash、NDF、ADF 这 9 个指标, 求出特征值, 并计算主成分贡献率, 根据结果分为 4 类主成分并计算主成分载荷(表 4)。发现 CP 和 P 在第 1 因子上有较高载荷, 主要体现了稳定性较弱的营养成分, Ca 和 Ash 在第 2 因子上有较高载荷, 主要表示稳定性较高的营养成分, EE 在第 3 因子上有较高载荷, 主要体现可被储存利用的营养成分, CF 在第 4 因子上有较高载荷, 主要表示难以直接利用的营养成分。

根据因子总得分 Z 可见, 有 13 种处理方式得分为正(表 5), 属于饲用价值较高的处理方式, 普遍为两种

处理共用, 而总得分为负的处理方式中, 以单一处理方式占绝大多数。采用切短+K₂CO₃ 处理方式的构树

表 4 因子矩阵
Table 4 Component matrix

指标 Item	因子 Component			
	1	2	3	4
DM	-0.449	-0.598	0.240	-0.019
CP	0.870 *	0.084	0.013	-0.084
EE	0.450	0.265	0.727 *	0.006
CF	-0.017	0.013	0.098	0.933 *
Ash	-0.136	0.851 *	0.147	0.294
Ca	-0.096	0.807 *	0.259	-0.265
P	0.821 *	-0.325	0.083	-0.074
NDF	0.251	-0.040	-0.798	-0.095
ADF	0.698	0.102	-0.331	0.379

表 5 因子得分
Table 5 Component score

编号 Number	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z	排序 Sequencing
HG ₁	-1.059	1.056	-0.772	0.492	-0.116	15
HG ₂	-0.901	-0.622	-1.360	-0.171	-0.615	21
HG ₃	-0.596	-0.792	-0.734	-0.126	-0.463	20
HG ₄	-0.394	0.408	-0.613	-0.094	-0.129	16
HG ₅	0.314	0.241	-0.633	0.664	0.123	11
HG ₆	-0.977	0.160	1.856	0.328	0.112	13
HG ₇	-0.740	0.441	0.013	-0.698	-0.194	17
HG ₈	-0.358	0.986	0.062	0.232	0.156	10
HG ₉	-0.758	-0.908	-1.409	-0.994	-0.754	22
HG ₁₀	-1.777	-1.262	-0.218	-0.945	-0.907	23
HG ₁₁	-0.191	-0.480	-1.157	1.071	-0.197	18
HG ₁₂	1.132	0.190	0.788	0.089	0.482	2
HG ₁₃	0.009	-0.628	0.734	-0.464	-0.076	14
HG ₁₄	-1.267	0.402	1.725	1.095	0.167	9
HG ₁₅	1.651	-0.443	-1.122	0.571	0.244	7
HG ₁₆	-0.245	0.632	1.144	1.267	0.420	4
HG ₁₇	0.812	0.646	0.929	-2.522	0.170	8
HG ₁₈	0.817	-2.760	1.071	-0.623	-0.283	19
HG ₁₉	1.906	-0.285	-0.891	1.561	0.514	1
HG ₂₀	0.082	1.402	-0.167	0.609	0.376	6
HG ₂₁	0.997	-1.008	1.294	0.913	0.379	5
HG ₂₂	1.558	1.507	-0.096	-1.936	0.468	3
HG ₂₃	-0.016	1.119	-0.445	-0.319	0.122	12

枝条,制成干草后其饲用价值较高,其中 HG₁₉ 代表的 6 cm 切短+2%K₂CO₃ 为最佳处理方式,而压扁处理对饲用价值的影响较大,尤其是用切短+压扁方式处理构树枝条时,茎干横纵截面皆受到破坏,影响养分保存。

3 讨论

3.1 晾晒方式在提升失水速率上的选择与应用

构树在进行干草调制时水分散失最快的处理为压扁+10 cm 切短,仅使用了物理方法进行调制,与经压扁处理的苜蓿加入 2%NaHCO₃ 的干燥效果最好^[30-31]的结论不同,究其原因,可能是原料初始含水率与添加剂不同的缘故。干草调制应尽量避免直接晾晒,单从干燥速率角度出发,物理处理下,进行压扁茎干处理或切短至 2 cm 最为适宜,而化学上单独使用干燥剂效果不够理想,与物理干燥方法搭配使用可有效提高干燥速率。

3.2 晾晒方式在提升饲用价值上的选择与应用

喷洒 K₂CO₃ 可提高构树枝条干草的饲用价值,其中 6 cm 切短+2%K₂CO₃ 饲用价值较高,而压扁+K₂CO₃ 会影响其饲用价值。饲用价值最低的是压扁+2 cm 切短,可能在压扁处理作用下,会造成 K₂CO₃ 保持养分的作用减弱,因此在选择使用干燥剂和破坏茎干结构处理的干草调制方式时,应选择切短的方式,减小维管束出露的表面积。此外,破坏茎干处

理虽然加快了干燥速率,但造成养分流失,流失效果为压扁>切短>喷洒 K₂CO₃^[32],因此在综合考虑饲用价值与干燥速度的前提下,应选择切短+喷洒 K₂CO₃ 的组合方式。

3.3 失水速率与饲用价值之间的关系

失水速率较低的 HG₁₀ 和 HG₁ 晾晒方式,其饲用价值排序分别为 23 和 15 位,失水速率较高的 HG₁₁ 和 HG₉ 饲用价值反而较低,排序分别为 18 和 22,可见失水速率与饲用价值之间无明显耦合关系,失水速率的主要决定因素是茎叶的破碎度,以及与添加剂的组合使用,而饲用价值的主要决定因素是茎叶的完整度与添加剂用量的组合影响。在涉及到茎干物理处理时,失水速率与饲用价值存在负相关关系,加入添加剂等其他因素后无明显耦合关系。

4 结论

以因子分析的综合得分为衡量饲用价值的指标,饲用价值最高的处理方式为 6 cm 切短+2%K₂CO₃,而单论干燥速度,最适的干草调制方法是压扁+10 cm 切短,干草失水速率与饲用价值无明显耦合关系。茎干破碎程度会影响饲用价值,而茎干的纵截面破碎对饲用价值的抑制作用更大。在干草调制方法的选择中,应以饲用价值为主导,合理选择适宜干燥方式。

参考文献 References:

- [1] 倪建伟,闻志刚,贺磊,苏上,王伟,耿涌杭,许新桥.中国野生构树自然类型及其利用现状.世界林业研究,2017,30(5):69-74.
Ni J W, Wen Z G, He L, Su S, Wang W, Geng Y H, Xu X Q. Natural type of wild *Broussonetia papyrifera* and its utilization in China. World Forestry Research, 2017, 30(5): 69-74. (in Chinese)
- [2] 谭桂华,刘子琦,肖华,曹洋.构树的饲用价值及应用.中国饲料,2017(20):32-35.
Tan G H, Liu Z Q, Xiao H, Cao Y. The feed value and application of *Broussonetia papyrifera*. China Feed, 2017(20): 32-35. (in Chinese)
- [3] Cong J M, Qing C W, Ju C G, Yan L J, Han S Y. Molecular identification of 'Candidatus phytoplasma asteris' related strain (16SrI-B) associated with *Broussonetia papyrifera* in Nanjing, China. European Journal of Plant Pathology, 2016, 145(1): 203-207.
- [4] 屠焰,刁其玉,田莉,周怿,熊伟.杂交构树营养成分瘤胃降解特点的研究.中国畜牧杂志,2009,45(11):38-41.
Tu Y, Diao Q Y, Tian L, Zhou Y, Xiong W. Study on the characteristics of rumen degradation of the nutrient composition of hybrid conformation. Chinese Journal of Animal Science, 2009, 45(11): 38-41. (in Chinese)
- [5] Ngwa A T, Nsahlai I V, Bonsi M L K. Feed intake and dietary preferences of sheep and goats offered hay and legume-tree pods in South Africa. Agroforestry Systems, 2003, 57(1): 29-37.
- [6] 许留兴,熊康宁,张锦华,刘成名,池永宽.毕节地区干草调制研究,草业科学,2015,32(6):1017-1026.
Xu L X, Xiong K N, Zhang J H, Liu C M, Chi Y K. Hay modulation in Bijie, Guizhou. Pratacultural Science, 2015, 32(6): 1017-

- 1026.(in Chinese)
- [7] Håkan S. Harvesting of leaf-hay shaped the Swedish landscape. *Landscape Ecology*, 2001, 16(8): 691-702.
- [8] 单贵莲, 薛世明, 郭盼, 张鸭关, 初晓辉. 刈割时期和调制方法对紫花苜蓿干草质量的影响. *中国草地学报*, 2012, 34(3): 28-33.
Shan G L, Xue S M, Guo P, Zhang Y G, Chu X H. Effect of cutting stage and drying method on hay quality of alfalfa. *Chinese Journal of Grassland*, 2012, 34(3): 28-33. (in Chinese)
- [9] 尹强. 苜蓿干草调制贮藏技术时空异质性研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学博士学位论文, 2013.
Yin Q. Study on spatial and temporal heterogeneity of alfalfa hay making and soring technology. PhD Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [10] 赵金梅, 玉柱, 孙启忠, 刘富渊, 张泽宏, 吴亚伟. 河西走廊紫花苜蓿干草调制技术研究. *草地学报*, 2009, 17(4): 485-489.
Zhao J M, Yu Z, Sun Q Z, Liu F Y, Zhang Z H, Wu Y W. Study on the curing technology of alfalfa hay in Hexi corridor area. *Acta Agraria Sinica*, 2009, 17(4): 485-489. (in Chinese)
- [11] 周娟娟, 王欣荣, 吴建平, 冯忠心, 史静, 陈本建. 调制方式对苜蓿青干草干燥特性和营养品质的影响. *草业科学*, 2013, 30(8): 1272-1277.
Zhou J J, Wang X R, Wu J P, Feng Z X, Shi J, Chen B J. Effects of different making methods on the drying characteristics and nutrition quality of *Medicago sativa* hay. *Pratacultural Science*, 2013, 30(8): 1272-1277. (in Chinese)
- [12] 丁武蓉. 高水分苜蓿干草贮藏技术及其添加剂的研究. 雅安: 四川农业大学硕士学位论文, 2008.
Ding W R. Studies on the storing technology and additives of alfalfa hay with high water content. Master Thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- [13] 张培青. 水分、密度的差异对干草捆贮藏品质的影响研究. 呼和浩特: 内蒙古农业大学硕士学位论文, 2008.
Zhang P Q. Research on storage quality of baled hay as affected by different water and bale compactness. Master Thesis. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008. (in Chinese)
- [14] 玉柱, 贾玉山. 牧草饲料加工与贮藏. 北京: 中国农业大学出版社, 2010: 23.
Yu Z, Jia Y S. Forage Feed Processing and Storage. Beijing: China Agricultural University Press, 2010: 23. (in Chinese)
- [15] Shetaawi M M, Abdel-Samee A M, Bakr E A. Reproductive performance and milk production of damascus goats fed acacia shrubs or berseem clover hay in North Sinai, Egypt. *Tropical Animal Health and Production*, 2001, 33(1): 67-79.
- [16] Almeida A M, Schwalbach L M, Waal H O, Greyling J P C, Cardoso L A. The effect of supplementation on productive performance of Boer goat bucks fed winter veld hay. *Tropical Animal Health and Production*, 2006, 38(5): 443-449.
- [17] Mupangwa J F, Ngongoni N T, Topps J H, Hamudikuwanda H. Effects of supplementing a basal diet of *Chloris gayana* hay with one of three protein-rich legume hays of *cassia rotundifolia*, *lablab purpureus* and *macroptilium atropurpureum* forage on some nutritional parameters in goats. *Tropical Animal Health and Production*, 2000, 32(4): 245-256.
- [18] Alemu B, Animut G, Tolera A. Effect of *Milletia ferruginea* (Birbra) foliage supplementation on feed intake, digestibility, body weight change and carcass characteristics of Washera sheep fed natural pasture grass hay basal diet. *Springerplus*, 2014, 3(1): 1-11.
- [19] 许留兴, 熊康宁, 张锦华, 池永宽, 湛妍, 刘成名. 西南喀斯特地区草地生态系统面临的问题及对策. *草业科学*, 2015, 32(5): 828-836.
Xu L X, Xiong K N, Zhang J H, Chi Y K, Chen Y, Liu C M. The problems and resolutions of grassland ecosystem in Karst of southwest China. *Pratacultural Science*, 2015, 32(5): 828-836. (in Chinese)
- [20] 李周, 赵雅洁, 宋海燕, 张静, 陶建平, 刘锦春. 喀斯特土层厚度异质性对草地群落结构和优势种生长的影响. *草业科学*, 2017, 34(10): 2023-2032.
Li Z, Zhao Y J, Song H Y, Zhang J, Tao J P, Liu J C. The effects of soil thickness heterogeneity on grassland plant community structure and growth of dominant species in Karst area. *Pratacultural Science*, 2017, 34(10): 2023-2032. (in Chinese)
- [21] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术(第4版). 北京: 中国农业大学出版社, 2016: 1-2.
Zhang L Y. Feed Analysis and Quality Test Technology (4th Edition). Beijing: China Agricultural University Press, 2016: 1-2. (in Chinese)
- [22] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 6435—2014 饲料中水分的测定. 北京: 中国标准出版社, 2014.

- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, GB/T 6435—2014 Determination of Moisture in Feedstuffs, Beijing: China Standard Press, 2014. (in Chinese)
- [23] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 6438—2007 饲料中粗灰分的测定. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, GB/T 6438—2007 Determination of Crude Ash, Beijing: China Standard Press, 2007. (in Chinese)
- [24] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 6436—2002 饲料中钙的测定. 北京: 中国标准出版社, 2002.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, GB/T 6436—2002 Determination of Calcium in Feed, Beijing: China Standard Press, 2002. (in Chinese)
- [25] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 6437—2002 饲料中总磷的测定 分光光度法. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, GB/T 6437—2002 Determination of Phosphorus in Feed-Spectrophotometry, Beijing: China Standard Press, 2002. (in Chinese)
- [26] 国家质量监督检验检疫总局. GB/T 6434—2006 饲料中粗纤维的含量测定. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, GB/T 6434—2006 Feeding Stuffs—Determination of Crude Fiber Content, Beijing: China Standard Press, 2006. (in Chinese)
- [27] 中华人民共和国农业部. NY/T 1495—2007 饲料中酸性洗涤纤维的测定. 北京: 中国标准出版社, 2007.
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China, NY/T 1495—2007 Determination of Acid Detergent Fiber in Feedstuff, Beijing: China Standard Press, 2007. (in Chinese)
- [28] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局. GB/T 20806—2006 饲料中中性洗涤纤维(NDF)的测定. 北京: 中国标准出版社, 2007.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, GB/T 20806—2006 Determination of Neutral Detergent Fiber in Feedstuffs, Beijing: China Standard Press, 2006. (in Chinese)
- [29] 徐伟. 青藏高原高寒牧区紫花苜蓿青贮及青干草调制研究. 兰州: 甘肃农业大学博士学位论文, 2014.
Xu W. Study on alfalfa silage and hay modulation in alpine pasture of Qinghai-Tibet plateau. PhD Thesis, Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2014. (in Chinese)
- [30] 武红, 张小娜, 刘丽英, 尹强, 贾玉山. 不同物理处理和化学处理对苜蓿干草预干燥过程的影响. 内蒙古草业, 2009, 21(4): 28-31.
Wu H, Zhang X N, Liu L Y, Yin Q, Jia Y S. Effects of different physical and chemical treatments on the pre-drying process of alfalfa hay. Inner Mongolia Prataculture, 2009, 21(4): 28-31. (in Chinese)
- [31] 李伟军, 苏涛, 李金, 李胜旺, 贾学峰, 郝耀. 不同干燥剂对苜蓿干草干燥速率的影响. 草原与草业, 2015, 27(4): 50-56.
Li W J, Su T, Li J, Li S W, Jia X F, Hao Y. The impact of different desiccant drying rate of alfalfa hay. Grassland and Prataculture, 2015, 27(4): 50-56. (in Chinese)
- [32] 张晓娜. 不同干燥方法对苜蓿干草营养价值的影响. 草地学报, 2013, 21(5): 977-984.
Zhang X N. Influences of different drying treatments on alfalfa hay nutritional value. Acta Agrestia Sinica, 2013, 21(5): 977-984. (in Chinese)

(责任编辑 张瑾)