

卡亚和杂交构树的饲用营养价值及其比较分析

刘 果, 尚秀华, 张沛健, 高丽琼, 彭 彦*

中国林业科学研究院速生树木研究所, 广东湛江 524022

摘 要: 我国饲料资源供求关系出现精饲料缺、蛋白质饲料缺、绿色饲料缺和总量不足的“三缺一不足”的现象, 尤其是蛋白饲料严重匮乏。卡亚和杂交构树作为 2 种新型优质的木本蛋白饲料资源, 具有极高的饲用生产潜力。本研究以卡亚和杂交构树叶片为试验材料, 对二者的常规营养成分、矿物质元素和氨基酸组分进行测定和分析, 结合饲料相对值 (relative feed value, RFV) 对 2 种木本饲料植物进行饲用价值的评估分析, 并对各营养成分间的相关性进行比较分析。卡亚和杂交构树的粗蛋白质含量均超过 20%, 且粗纤维含量均低于 15%; Ca、P、K、Mg、Fe、Zn 等矿物质元素含量均较高, 其中卡亚的钙磷比为 1.82 : 1, 满足一般饲料中的钙磷比需求, 而杂交构树的钙磷比为 8 : 1, 远高于一般饲料中钙磷比的需求; 卡亚和杂交构树中 EAA/NEAA 均在 60% 以上, 且 EAA/TAA 均大于 40%, 二者样品中的限制性氨基酸和含硫氨基酸种类全面且含量丰富。结合饲料相对值 (RFV) 对卡亚和杂交构树进行评定的结果显示, 卡亚属于特级饲料原料, 杂交构树属于优级木本饲料原料, 二者作为粗饲料整体效果均较好, 饲用价值高。因此, 卡亚和杂交构树二者均属于富含蛋白质、矿物质和氨基酸的优质木本蛋白饲料原料, 在禽畜日粮中具有很高的饲用价值和发展潜力。与杂交构树相比, 卡亚的粗蛋白含量更高、粗纤维含量更低、中性洗涤纤维含量更低, 且钙磷比例更合理, 具有更优的饲用价值。

关键词: 卡亚; 杂交构树; 饲用营养价值; 钙磷比; 限制性氨基酸

中图分类号: S816.15 文献标识码: A

Comparative Analysis on Feed Nutritive Value of *Cnidoscopus aconitifolius* and Hybrid *Broussonetia papyrifera*

LIU Guo, SHANG Xiuhua, ZHANG Peijian, GAO Liqiong, PENG Yan*

Research Institute of Fast-growing Trees, Chinese Academy of Forestry, Zhanjiang, Guangdong 524022, China

Abstract: The supply and demand of feed resources in China appear the phenomenon of lack of concentrate feed, protein feed, green feed and insufficient total resources, especially the serious shortage of protein feed. *Cnidoscopus aconitifolius* and hybrid *Broussonetia papyrifera*, as two new and high quality woody protein feed resources, have high potential for feed production. In this study, *C. aconitifolius* and hybrid *B. papyrifera* were taken as the experimental objects to determine the conventional nutritional components, mineral elements and amino acid components. The comparison results were performed by *t* test and the feeding values of the two woody fodder plants were evaluated combined with relative feed value (RFV). The results of analysis showed that the crude protein (CP) content of *C. aconitifolius* and hybrid *B. papyrifera* was more than 20%, the crude fiber (CF) content was less than 15%, the mineral element content such as Ca, P, K, Mg, Fe and Zn was high. Among them, the Ca/P ratio of *C. aconitifolius* was 1.82 : 1, which met the requirement of Ca/P ratio in general feed, while the Ca/P ratio of hybrid *B. papyrifera* was 8 : 1, which was far greater than that in general feed. The essential amino acids (EAA)/non-essential amino acids (NEAA) and essential amino acids (EAA)/total amino acids (TAA) in both *C. aconitifolius* and hybrid *B. papyrifera* was above 60% and 40%, respectively. The variety of limiting amino acid (LAA) and sulfur-containing amino acids was comprehensive and rich in content. The evaluation results of *C. aconitifolius* and hybrid *B. papyrifera* com-

收稿日期 2022-06-07; 修回日期 2022-07-17

基金项目 中国林业科学研究院基本科研业务费项目 (No. CAFYBB2018MB007); 广东省林业科技创新项目 (No. 2016KJXC032)。

作者简介 刘 果 (1987—), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 林木遗传育种。*通信作者 (Corresponding author): 彭 彦 (PENG Yan), E-mail: 594319902@qq.com。

bined with the relative feed value (RFV) showed that *C. aconitifolius* was super grade forage material and hybrid *B. papyrifera* was senior grade forage material, both had good overall effect and high feeding value. The results of comparative analysis on nutritional value of *C. aconitifolius* and hybrid *B. papyrifera* showed that both belonged to high-quality woody feed raw materials rich in protein, minerals and amino acids, had high feeding value and development potential in livestock diets. In particular, *C. aconitifolius* had higher CP content, lower CF content, lower NDF content and more reasonable proportion of calcium-phosphorus ratio, which had better feeding value compared with hybrid *B. papyrifera*.

Keywords: *Cnidocolus aconitifolius*; hybrid *Broussonetia papyrifera*; feed nutritive value; calcium-phosphorus ratio; limiting amino acid

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.02.021

畜牧业是现代农业产业体系的重要组成部分。大力发展畜牧业,对促进农业结构优化升级,增加农民收入,改善国民膳食结构,提高国民体质具有重要意义^[1]。《“十四五”全国饲草产业发展规划》中指出,饲草是草食畜牧业发展的物质基础,饲草产业是现代农业的重要组成部分,是调整优化农业结构的重要着力点。截至 2020 年,我国对优质饲草的需求总量仍有近 5000 万 t 的缺口,占总需求量 1.2 亿 t 的 41.67%。针对我国优质饲料资源严重短缺的现状,寻找传统饲料的补充资源和非常规饲料资源的开发利用,增加饲料原料的供给,是缓解当前需求的重要途径^[2]。木本饲料作为一种新型饲料资源,不仅具有较强环境适应能力和高产量的特点,并且营养丰富,资源充足^[3-4]。因此,对木本饲料的开发利用将是解决我国饲料资源短缺的突破口。

卡亚 (*Cnidocolus aconitifolius*) 又名树菠菜或木菠菜,为大戟科 (Euphorbiaceae) 多年生灌木^[5-6],是一种综合营养价值较高的新型木本蔬菜,其叶和嫩枝可像菠菜一般烹调食用^[7]。同时,卡亚枝叶粗蛋白质和粗脂肪含量较高、氨基酸和矿物质元素种类丰富、纤维素含量较低,是一种优质木本蛋白饲料^[8]。卡亚易于生长,适宜温热、潮湿气候,能够生长于全日照或半阴环境,是一种理想的乔木林下经济植物^[9-10]。杂交构树 (hybrid *Broussonetia papyrifera*) 是桑科 (Moraceae) 落叶乔木^[11-12],由中国科学院植物研究所利用现代生物技术和传统杂交育种方法培育的新树种,具有较强的抗逆性、速生丰产性和病虫害少等特点^[13],不仅是保护生态环境和水土保持的优良树种,其树叶蛋白质含量高,加工后可用于生产饲料,也是一种绿色、高效的木本蛋白饲料资源,已在我国很多省(区)被推广和应用^[14]。

蒋剑春院士曾指出,通过以树代粮,种养循

环,可以解决我国蛋白饲料原料短缺的问题^[15]。因此,本研究以卡亚和杂交构树为研究对象,对这 2 种新型优质的木本蛋白质饲料原料的常规营养成分、矿物质元素和氨基酸组分进行测定和比较分析,并分别对 2 种木本饲料植物的主要营养成分进行相关性分析,为新型木本饲料植物的合理开发和利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试卡亚和杂交构树均种植于广东省湛江市遂溪县南方国家级林木种苗示范基地,其中,卡亚是由中国林业科学研究院速生树木研究所于 2016 年引种自美国德克萨斯州。遂溪县属北热带湿润大区雷琼区北缘,为海洋性季风气候。年平均气温为 23.1℃,年平均降雨量 1567 mm,夏季潮湿,冬季干旱,土层深厚肥沃,具有良好的保水能力。

以 3 年生卡亚和杂交构树的叶片作为测定材料,分别随机采集新鲜叶片 300 g,设置 3 个重复,每个重复采集 3 株植株。将新鲜的卡亚和杂交构树叶片分别制成实验室干样,按照 GB/T 20195—2006 标准制备样品,粉碎后过筛 (1.00 mm),袋装密封保存,备用。

1.2 方法

样品中水分 (moisture, M) 含量的测定参照 GB/T 6437—2014《饲料中水分的测定》;粗蛋白质 (crude protein, CP) 含量的测定参照 GB/T 6437—2018《饲料中粗蛋白质测定方法》;粗脂肪 (ether extract, CEE) 含量的测定参照 GB/T 6433—2006《饲料中粗脂肪的测定》;粗纤维 (crude fibre, CF) 含量的测定参照 GB/T 6434—2006《饲料中粗纤维的含量测定 过滤法》;粗灰分 (Ash) 含量的测定参照 GB/T 6438—2007《饲料中粗灰分的测定》;

酸性洗涤纤维 (acid detergent fiber, ADF) 含量的测定参照 NY/T 1459—2007《饲料中酸性洗涤纤维的测定》; 中性洗涤纤维 (neutral detergent fiber, NDF) 含量的测定参照 GB/T 20805—2006《饲料中中性洗涤纤维的测定》; 总磷 (P) 含量的测定参照 GB/T 6437—2018《饲料中总磷的测定 分光光度法》; 钙 (Ca) 含量的测定参照 GB/T 6437—2018《饲料中钙的测定》; 18 种氨基酸组分的测定参照 GB/T 18246—2000《饲料中氨基酸的测定》; 镁 (Mg)、钾 (K)、锰 (Mn)、铁 (Fe)、铜 (Cu)、锌 (Zn) 等矿物质元素含量的测定参照 GB/T 14924.12—2001《实验动物 配合饲料 矿物质和微量元素的测定》。每个样品进行 3 个技术重复测定。

碳水化合物 (total carbohydrate, TC) 和无氮浸出物 (nitrogen free extract, NFE) 参照以下公式计算^[16]:

$$\begin{aligned} \text{TC}(\%) &= 100 - \text{M}(\%) - \text{Ash}(\%) - \text{CP}(\%) - \text{EE}(\%) \\ \text{NFE}(\%) &= 100 - [\text{M}(\%) + \text{CP}(\%) + \text{EE}(\%) + \text{CF}(\%) + \text{Ash}(\%)] \end{aligned}$$

1.3 相关预测模型及计算

(1) 利用 CP、EE 和 TC 的热卡系数 (Atwater factors) (4, 9, 4) 对能量值 (caloric values, CV) 进行计算, 其预测模型为: $\text{CV} = 4 \times \text{CP} + 9 \times \text{EE} + 4 \times \text{TC}$ 。CV 单位为 kcal/100 g^[17]。

(2) 干物质随意采食量 (dry matter intake, DMI) 预测模型为: $\text{DMI}(\%) = 120 / \text{NDF}(\%)$ 。

(3) 可消化干物质 (digestible dry matter, DDM) 的预测模型为: $\text{DDM}(\%) = 88.9 - 0.779 \times \text{ADF}(\%)$ 。

(4) 饲料相对值 (relative feed value, RFV) 的预测模型为: $\text{RFV} = \text{DMI}(\%) \times \text{DDM}(\%) / 1.29$ 。式中, DMI 为占体重的百分比 (%); DDM 为占干物质的百分比 (%)^[18]。

1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2016 软件进行整理, 并利用 SPSS 20.0 软件进行 *t* 检验的差异分析和 Pearson 相关性分析。

2 结果与分析

2.1 常规营养成分含量的比较分析

概略养分分析法把饲料组成成分分为水分 (M)、粗灰分 (Ash)、粗蛋白质 (CP)、粗脂肪

或乙醚浸出物 (EE)、粗纤维 (CF) 和无氮浸出物 (NFE)^[19]。根据对卡亚和杂交构树样品进行常规营养成分含量的测定结果显示 (表 1), 卡亚叶片含水量为 86.34%, 极显著高于杂交构树叶片的含水量 (71.64%); 二者样品中的 CP 含量均较高, 其中卡亚叶片中 CP 含量 (23.96%) 显著高于杂交构树 (21.04%); EE 在卡亚 (4.20%) 和杂交构树 (3.87%) 中的含量差异不显著; 杂交构树中的 CF 含量为 12.22%, 显著高于卡亚叶片中 CF 含量 (9.80%); 杂交构树叶片中 Ash 含量为 15.47%, 极显著高于卡亚中 Ash 含量 (10.42%); TC 在卡亚和杂交构树中的含量分别为 41.42% 和 40.29%, 差异不显著; 卡亚的 ADF 含量与杂交构树中的含量相近差异不显著, 而杂交构树中的 NDF 含量 (23.30%) 极显著高于卡亚中 NDF 含量 (15.38%)。由此可知, 卡亚和杂交构树 2 种木本植物作为饲用植物的营养价值均较高, 卡亚的几种常规营养成分略优于杂交构树, 二者均是蛋白质含量较高且纤维含量较低的优质木本蛋白饲料原料。

对于有饲用价值的植物, 能量值 (CV) 是其饲用价值的评价标准之一^[20]。利用热卡系数分别对卡亚和杂交构树样品中的 CV 进行计算, 结果 (表 1) 显示, 2 种植物的 CV 均较高, 其中卡亚

表 1 卡亚和杂交构树的常规营养成分
(除水分以外为风干基础)

指标 Index	卡亚 <i>C. aconitifolius</i>	杂交构树 Hybrid <i>B. papyrifera</i>
水分	86.34 ^a	71.64 ^b
粗蛋白质	23.96 ^a	21.04 ^b
粗脂肪	4.20	3.87
粗纤维	9.80 ^b	12.22 ^a
粗灰分	10.42 ^B	15.47 ^A
无氮浸出物	51.40 ^a	48.51 ^b
碳水化合物	41.42	40.29
酸性洗涤纤维	13.64	15.77
中性洗涤纤维	15.38 ^B	23.30 ^A
能量值/[kcal·(100 g) ⁻¹]	299.34 ^a	280.13 ^b
饲料相对值	475.98 ^A	307.56 ^B

注: 除水分以外为风干基础。同行不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 同行不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

Note: Air-dry basis beside moisture. Different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$), different capital letters in the same row indicate extremely significant difference ($P < 0.01$).

的 CV (299.34 kcal/100 g) 显著高于杂交构树 (280.13 kcal/100 g)。饲料相对值 (RFV) 是广泛使用的粗饲料质量评定指数之一^[21], 其预测仅依赖于 ADF、NDF 含量。由表 1 可知, 卡亚和杂交构树的 RFV 分别为 475.98 和 307.56, ADF 值分为 13.64 和 15.77, NDF 值分别为 15.38 和 23.30。根据中国畜牧业协会制定的 T/CAAA 001—2018《苜蓿干草质量分级》^[22]中特级、优级、一级、二级和三级的标准可得, 卡亚满足 CP \geq 22.00%, NDF $<$ 34.0%, ADF $<$ 27.0%, RFV $>$ 185 的优级标准。由此说明, 卡亚属于特级木本饲料原料, 杂交构树属于优级木本饲料原料, 二者作为粗饲料整体效果均较优, 饲用价值高。

2.2 矿物质元素含量的比较分析

对卡亚和杂交构树叶片分别进行 8 种矿物质含量的测定, 结果表明 (表 2), 杂交构树中 Ca 含量显著高于卡亚, Fe 和 Mn 含量极显著高于卡亚, 卡亚中 P 含量极显著高于杂交构树, 卡亚中 Zn 含量是杂交构树中的 19.48 倍, 极显著高于杂交构树, 卡亚中 Cu 含量极显著高于杂交构树, 卡亚中 Mg 含量与杂交构树中的含量差异不显著。

研究表明, 适宜的钙磷比, 对禽畜的生长发育和繁殖等有至关重要的作用^[23]。杂交构树叶片中钙和磷的含量分别高达 2894.33、362.33 mg/100 g, 钙磷比例为接近 8:1, 远高于一般饲料中钙磷比的需求。卡亚中钙和磷含量分别为 2309.25、1265.62 mg/100 g, 二者比例为 1.82:1, 接近正常

表 2 卡亚和杂交构树的矿物质元素含量 (风干基础)

Tab. 2 Comparison of mineral element contents between *C. aconitifolius* and hybrid *B. papyrifera* (air-dry basis) mg/100 g

指标 Index	卡亚 <i>C. aconitifolius</i>	杂交构树 Hybrid <i>B. papyrifera</i>
Ca	2309.25 ^B	2894.33 ^A
P	1265.62 ^A	362.33 ^B
K	3505.58 ^a	2383.33 ^b
Fe	93.49 ^B	153.90 ^A
Zn	465.60 ^A	23.90 ^B
Mn	14.02 ^B	45.83 ^A
Cu	14.12 ^A	6.52 ^B
Mg	839.96	691.00

注: 同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$), 同行不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters in the same row indicate extremely significant difference ($P<0.01$).

情况下饲料中钙磷比 (2:1)。由此可知, 卡亚和杂交构树中矿物质元素种类丰富, Ca 元素含量高, 卡亚中钙磷比例较杂交构树更优, 更能够较好满足畜禽生长发育过程中的矿质元素需求。

2.3 氨基酸含量的比较分析

卡亚和杂交构树 2 种植物样品中 18 种氨基酸含量 (表 3) 的分析表明, 有 12 种氨基酸含量在卡亚和杂交构树样品中存在显著差异, 其中, 10 种氨基酸 (天冬氨酸 Asp、丝氨酸 Ser、谷氨酸 Glu、脯氨酸 Pro、胱氨酸 Cys、缬氨酸 Val、络氨酸 Tyr、组氨酸 His、精氨酸 Arg 和色氨酸 Trp) 在卡亚和杂交构树的含量中达到差异极显著水平。由表 3 可知, 卡亚和杂交构树中各氨基酸含量比例相似且均较理想, 2 种植物均以谷氨酸 Glu 含量最高, 分别为 4.16% 和 3.19%, 其次为亮氨酸 Leu (分别为 2.37% 和 2.12%), 天冬氨酸 Asp 在杂交构树中含量也较高 (2.20%)。另外, 卡亚和杂交构树中均以胱氨酸 Cys 和色氨酸 Trp 含量最低。卡亚的氨基酸总含量 (24.02%) 显著高于杂交构树的氨基酸总含量 (22.60%)。18 种氨基酸中, 卡亚和杂交构树的 11 种必需氨基酸 (essential amino acid, EAA) 总含量占氨基酸总量比例分别为 48.14% 和 45.69%, 非必需氨基酸 (non-essential amino acid, NEAA) 含量占氨基酸总量分别为 51.86% 和 54.31%。联合国粮农组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO) 推荐, EAA/NEAA 在 60% 以上, EAA/TAA 在 40% 以上为质量较高的蛋白质^[24]。卡亚和杂交构树中 EAA/NEAA 均在 60% 以上, 且 EAA/TAA 均大于 40%, 由此可知, 卡亚和杂交构树均能为禽畜提供比较优质的蛋白质。

饲料蛋白质中常将赖氨酸 Lys、蛋氨酸 Met 或色氨酸 Trp 分别称为第一、第二和第三限制性氨基酸 (limiting amino acid, LAA)。3 种 LAA 的含量与动物机体能否顺利合成蛋白质密切相关^[25]。在卡亚和杂交构树中 3 种 LAA 的总含量分别为 2.92% 和 2.90%, 其中, 赖氨酸 Lys 的含量较高且差异不显著, 分别为 1.40% 和 1.45%。含硫氨基酸包括蛋氨酸 Met 和胱氨酸 Cys, 是反刍动物营养中的限制性氨基酸, 也是构成家畜毛角蛋白最重要的氨基酸^[25]。由表 3 可知, 卡亚和杂交构树中含硫氨基酸含量较高, 分别为 0.76% 和 0.51%。由此可知, 卡亚和杂交构树 LAA 种类齐全, 含量丰富, 适合禽畜生长和发育。

表 3 卡亚和杂交构树的氨基酸含量 (风干基础)
Tab. 3 Amino acid contents of *C. aconitifolius* and hybrid *B. papyrifera* (air-dry basis) %

组分 Component	卡亚 <i>C. aconitifolius</i>	杂交构树 Hybrid <i>B. papyrifera</i>	组分 Component	卡亚 <i>C. aconitifolius</i>	杂交构树 Hybrid <i>B. papyrifera</i>
苏氨酸 Thr	1.09	1.02	天冬氨酸 Asp	1.48 ^B	2.20 ^A
胱氨酸 Cys [#]	0.32 ^A	0.08 ^B	非必需氨基酸		
缬氨酸 Val	1.29 ^B	1.61 ^A	丝氨酸 Ser	1.06 ^A	0.80 ^B
蛋氨酸 Met [#]	0.43	0.43	谷氨酸 Glu	4.16 ^A	3.19 ^B
必需氨基酸			脯氨酸 Pro	1.30 ^B	1.56 ^A
异亮氨酸 Ile	1.28	1.32	甘氨酸 Gly	1.28 ^b	1.48 ^a
亮氨酸 Leu	2.37	2.12	丙氨酸 Ala	1.24 ^b	1.65 ^a
络氨酸 Tyr	0.96 ^A	0.34 ^B	精氨酸 Arg	1.94 ^A	1.40 ^B
苯丙氨酸 Phe	1.34	1.39	非必需氨基酸总量 (NEAA)	12.46	12.28
赖氨酸 Lys [*]	1.40	1.45	限制性氨基酸总量 (LAA) [*]	2.92	2.90
组氨酸 His	0.93 ^A	0.53 ^B	含硫氨基酸总量 [#]	0.76	0.51
色氨酸 Trp [*]	0.15 ^A	0.04 ^B	氨基酸总含量	24.02 ^a	22.60 ^b
必需氨基酸总量 (EAA)	11.56 ^A	10.33 ^B			

注：同行不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)，同行不同大写字母表示差异极显著 ($P<0.01$)；^{*}表示限制性氨基酸，[#]表示含硫氨基酸。

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P<0.05$), different capital letters in the same row indicate extremely significant difference ($P<0.01$). ^{*} indicates limiting amino acid, and [#] indicates sulfur-containing amino acid.

2.4 各营养指标间的相关性分析

利用 Pearson 相关系数法分别分析卡亚和杂交构树各营养指标间的相关性。由表 4 可知，卡亚叶片中 M 与 CV 呈强负相关关系 ($r=-0.60$)，CP 与 NFE、TC 呈强负相关关系，与 EE 呈强负相关关系 ($r=-0.89$)；EE 与 NFE、ADF 呈强正相关关系，其中与 ADF 达极强正相关 ($r=0.81$)；Ash 与 NEF、TC、CF、ADF、NDF 均呈强负相关关系，与 RFV 呈极强正相关关系 ($r=0.92$)；NFE 与 TC、CF 呈强正相关关系，其中与 TC 相关性达到极强水平 ($r=0.80$)；TC 与 CF、ADF、NDF 呈强正相关关系；CF 与 NDF 呈极强正相关关系 ($r=0.96$)，与 ADF 呈强正相关关系；NDF 和 ADF 间呈极强正相关关系 ($r=0.87$)，并且二者均与 RFV 呈极强负相关关系 ($r=-0.91$, $r=-1.00$)。由此可得，卡亚样品中 RFV 与 NDF、ADF、CF、TC 均呈负相关，即 NDF、ADF、CF、TC 含量越低，RFV 越高，卡亚饲用价值越高；反之，卡亚样品中 Ash 与 RFV 呈正相关，即卡亚中 Ash 越高，RFV 越高，卡亚饲用价值越高。卡亚样品中 CV 仅与 M 呈负相关关系，即卡亚中 M 越低，CV 越高，单位重量的卡亚提供的能量值越高。卡亚中 EE、NFE 均与 RFV 呈中等程度相关，CP、M、CV 均与 RFV 呈弱相关关系。

杂交构树与卡亚样品中各指标间的相关性存在差异 (表 5)。其中，杂交构树样品中水分含量与 CF 呈强正相关关系；EE 与 TC、CF 呈强负相关关系，其中与 TC 的相关性达到极强水平 ($r=-0.91$)；Ash 与 NFE 呈强正相关关系；NFE 与 NAF、CV 呈强负相关关系，与 RFV 呈极强正相关关系 ($r=0.86$)；CF 与 CV 呈强正相关关系；ADF 与 CV 呈极强正相关关系；NDF 与 CV 呈极强正相关关系 ($r=0.94$)；杂交构树样品的 CV 与 RFV 呈极强负相关关系 ($r=-0.96$)。由此可知，与卡亚样品不同的是，杂交构树样品中 CV 与 NDF、ADF、CF 均呈正相关关系，与 NFE、Ash 呈负相关关系，即 NDF、ADF 和 CF 越高或者 NEF 和 Ash 越低时，构树样品中 CV 越高，单位质量的构树能够为禽畜提供更多的能量；并且 CV 越低或者 NFE 越高时，杂交构树的 RFV 越高，即 CV 越低或 NFE 越高时，杂交构树的饲用价值越高。另外，杂交构树中 M、CP 均与 RFV 呈弱相关关系，EE、TC 与 RFV 间的相关性极弱，CF 与 RFV 呈中等程度负相关关系 (表 5)。

2 种木本饲用植物的各营养指标间的相关性一致的是，在卡亚和杂交构树中 CP、EE 与 RFV 之间的相关性较弱，这与仅依据 ADF 和 NDF 进行预测 RFV 值有关；CF 与 ADF 呈强正相关关系，

表 4 卡亚 11 个营养指标的相关性分析
Tab. 4 Correlation analysis among nutritional indexes of *C. aconitifolius*

指标 Index	水分 M	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash	含氮浸出 物 NFE	碳水化 合物 TC	粗纤维 CF	酸性洗涤 纤维 ADF	中性洗涤 纤维 NDF	能量值 CV	饲料相对 值 RFV
水分	1.00										
粗蛋白质	0.14	1.00									
粗脂肪	-0.24	-0.89**	1.00								
粗灰分	0.03	0.39	-0.47	1.00							
含氮浸出物	-0.02	-0.79*	0.60*	-0.76*	1.00						
碳水化合	-0.07	-0.79*	0.75*	-0.87**	0.95**	1.00					
粗纤维	-0.36	-0.33	0.42	-0.93**	0.69*	0.79*	1.00				
酸性洗涤纤维	-0.17	-0.57	0.81**	-0.82**	0.58	0.80**	0.76*	1.00			
中性洗涤纤维	-0.40	-0.34	0.54	-0.90**	0.58	0.75*	0.96**	0.87**	1.00		
能量值	-0.60*	0.47	-0.46	-0.18	-0.10	-0.12	0.45	-0.13	0.35	1.00	
饲料相对值	0.33	0.36	-0.57	0.92**	-0.58	-0.77*	-0.95**	-0.91**	-1.00**	-0.28	1.00

注: **表示极强相关, r 为 $\pm 0.8 \sim \pm 1.0$; *表示强相关, r 为 $\pm 0.6 \sim \pm 0.8$; r 为 $\pm 0.4 \sim \pm 0.6$, 表示中等程度相关; r 为 $\pm 0.2 \sim \pm 0.4$, 表示弱相关; r 为 $0.0 \sim \pm 0.2$, 表示极弱相关或无相关。

Note: ** indicates the strongest correlation, and r is from ± 0.8 to ± 1.0 ; * indicates stronger correlation, and r is from ± 0.6 to ± 0.8 ; r is from ± 0.4 to ± 0.6 , indicating medium correlation; r is from ± 0.2 to ± 0.4 , indicating weak correlation; r is from 0.0 to ± 0.2 , indicating extremely weak correlation or no correlation.

表 5 杂交构树 11 个营养指标的相关性分析
Tab. 5 Correlation analysis among nutritional indexes of hybrid *B. papyrifera*

指标 Index	水分 M	粗蛋白 质 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash	含氮浸出 物 NFE	碳水化 合物 TC	粗纤维 CF	酸性洗涤 纤维 ADF	中性洗涤 纤维 NDF	能量值 CV	饲料相对 值 RFV
水分	1.00										
粗蛋白质	0.32	1.00									
粗脂肪	-0.13	0.23	1.00								
粗灰分	-0.12	0.24	0.03	1.00							
含氮浸出物	-0.46	-0.39	-0.31	0.75*	1.00						
碳水化合物	-0.26	-0.32	-0.91**	0.15	0.58	1.00					
粗纤维	0.66*	-0.09	-0.73*	-0.46	-0.32	0.39	1.00				
酸性洗涤纤维	0.27	0.13	-0.56	-0.72*	-0.57	0.33	0.76*	1.00			
中性洗涤纤维	0.41	0.30	-0.07	-0.84**	-0.91**	-0.20	0.57	0.86**	1.00		
能量值	0.39	0.21	-0.41	-0.77*	-0.72*	0.13	0.75*	0.98**	0.94**	1.00	
饲料相对值	-0.32	-0.29	0.16	0.83**	0.86**	0.09	-0.58	-0.91**	-0.99**	-0.96**	1.00

注: **表示极强相关, r 为 $\pm 0.8 \sim \pm 1.0$; *表示强相关, r 为 $\pm 0.6 \sim \pm 0.8$; r 为 $\pm 0.4 \sim \pm 0.6$, 表示中等程度相关; r 为 $\pm 0.2 \sim \pm 0.4$, 表示弱相关; r 为 $0.0 \sim \pm 0.2$, 表示极弱相关或无相关。

Note: ** indicates the strongest correlation, and r is from ± 0.8 to ± 1.0 ; * indicates stronger correlation, and r is from ± 0.6 to ± 0.8 ; r is from ± 0.4 to ± 0.6 , indicating medium correlation; r is from ± 0.2 to ± 0.4 , indicating weak correlation; r is from 0.0 to ± 0.2 , indicating extremely weak correlation or no correlation.

这与刘磊等^[26]研究得出饲料 ADF 与 CF 间呈高度正相关的结论一致; Ash 与 ADF、NDF、CV 均呈强负相关关系, 与 RFV 呈极强正相关关系; ADF 与 NDF 呈极强正相关关系, 与 RFV 呈极强负相关关系; NDF 与 RFV 呈极强负相关关系。因此, 卡亚和杂交构树中 Ash 含量越高, ADF 和 NDF 含量越低, 其饲用价值越高。

3 讨论

木本饲用植物的产量是草本植物的 2~4 倍, 还可多年利用, 是禽畜饲料的宝库^[27]。我国木本饲用植物资源丰富, 拥有近千种木本饲用植物, 发展潜力巨大^[28]。分析饲料原料的营养价值是研究饲料营养物质利用的最基础工作。

饲用植物资源的营养品质很大程度上取决于

CP 和 CF 含量, 一般认为 CP 含量越高, CF 含量越低的饲用植物, 其营养价值越高^[29]。本研究中卡亚和杂交构树的 CP 含量均超过 20%, 远高于常规饲料原料苜蓿 (alfalfa) (11.40%)^[16]、玉米 (corn grain) (9.40%)^[30]和新型优质蛋白饲料原料辣木 (*Moringa oleifera*) (17.98%)^[31]; 二者 CF 含量分别为 9.80%和 12.22%, 远低于木本饲料原料柠条 (*Caragana korshinskii*) (46.30%)^[32]、辣木 (27.74%)^[31]和常规饲料原料苜蓿 (33.20%)^[16]。研究表明, NDF 和 ADF 含量直接影响饲用植物的品质及禽畜消化率^[33]。NDF 含量高, 饲草的适口性则差, 将大大降低禽畜采食量; ADF 含量越高, 则会大幅降低可消化干物质的消化率^[34]。本研究中卡亚和杂交构树中 ADF 含量差异不显著, 杂交构树中 NDF 显著高于卡亚。由此说明, 卡亚和杂交构树中可消化干物质的消化率相似, 但卡亚的适口性显著优于杂交构树。EE 是饲料中的一个重要组成部分, 含量过高易引起禽畜腹泻或肥胖, 甚至影响禽畜的消化功能^[35]。卡亚和杂交构树的 EE 含量均低于 5%, 低于常规饲料原料大豆 (soybean) (17.30%)^[30]和木本饲料原料桑树 (*Ramulus mori*) (5.60%)^[36]和槐树 (locust) (8.20%)^[37]。TC 是植物性饲料的主要组成成分, 是禽畜热能的主要来源, 也是形成组织器官不可缺少的成分^[38]。卡亚和杂交构树的 TC 含量均较高, 均可充分供给禽畜生命活动所需的能量。饲料中的 NFE 主要包括糖和淀粉, 也有部分半纤维素和木质素, 可用来初步评定饲料原料营养价值的高低。NFE 含量越高, 饲草的适口性更好, 消化率更高, 提供给禽畜的能量越多^[28]。本研究中卡亚的 NFE 含量为 51.40%, 与植物性籽实和块根、块茎类饲料中的 NFE 含量 (50%以上) 相近, 卡亚比杂交构树的淀粉和可溶性糖类物质含量更高, 适口性更好, 更易被各类禽畜消化吸收。Ash 主要为矿物质氧化物和盐类等无机物质, 能够反映饲草矿物元素的总体含量。Ash 含量越高表明饲料品质越差^[31]。本研究中卡亚和杂交构树的 Ash 含量分别为 10.42%和 15.47%, 与 VICTOR 等^[39]和施海娜等^[12]的研究结果基本一致。结合 RFV、CP、CF、Ash、ADF 和 NDF 等指标, 卡亚和杂交构树营养成分丰富, 各种营养成分的含量比例适宜, 尤其是粗蛋白质含量较高且粗纤维含量较低, 其中卡亚属于特级木本饲料原料, 杂交构树属于优级木本饲料原料, 二者均为营养价

值高的优质木本蛋白饲料原料, 饲用价值高。

饲料中矿物质元素供应不足会严重影响禽畜机体正常发育, 甚至引起缺乏症^[40-41]。其中 Ca 对禽畜的骨骼和牙齿等的正常发育和蛋壳形成具有重要作用^[42]。卡亚和杂交构树中矿物质元素种类丰富, 二者 Ca 含量显著高于苜蓿 (1.4%)^[30]、玉米 (0.10%)^[30]、大豆 (0.30%)^[30]等常规饲料原料, 以及桑树 (2.10%)^[34]、槐树 (2.10%)^[35]等木本饲料原料。杂交构树中钙磷比例偏高, 在配合饲料时必须注意对其钙磷比例的调整。因此, 卡亚作为木本饲料的矿物质元素含量更平衡, 更能够满足禽畜生长和发育的需求。

氨基酸是家畜合成肉、奶、毛、皮等产品的原料, 是饲料营养价值的重要指标^[43]。卡亚和杂交构树的氨基酸种类丰富, 二者 EAA 含量远高于苜蓿 (4.98%)^[30]、大豆 (8.55%)^[30]、玉米 (3.34%)^[30]和黑麦草 (*Lolium perenne*) (8.40%)^[24]等常规饲料植物, 以及桑树 (3.78%)^[34]、辣木 (8.85%)^[37]和槐树 (4.46%)^[35]等木本饲料植物。赖氨酸和蛋氨酸是配制日常饲料最受关注的 LAA^[42]。卡亚和杂交构树中赖氨酸含量远高于桑树 (0.52%)^[34]、苜蓿 (0.82%)^[30]和玉米 (0.22%)^[30]。蛋氨酸在卡亚和杂交构树中的含量是苜蓿和玉米中的 2 倍^[43]。植物性饲料中含硫氨基酸的组成特点对于衡量饲料品质具有重要意义^[42]。卡亚和杂交构树的含硫氨基酸含量均高于梗草 (*japonica grass*) (0.45%)^[44]、玉米 (0.33%)^[44]和苜蓿 (0.22%)^[44]等。因此, 卡亚和杂交构树的氨基酸种类全面且含量丰富, 比常规饲料更适合畜牧生长。

综上所述, 卡亚和杂交构树均为优质的非常规木本蛋白饲料资源, 二者粗蛋白质含量较高且粗纤维含量较低, 矿物质元素和氨基酸种类全面且含量丰富, 均可作为大豆、苜蓿等常规饲料的补充或替代产品。但作为木本植物, 单宁和木质素等含量较高是限制木本饲料作为基础日粮的重要原因^[45]。研究表明, 卡亚和杂交构树叶片中单宁含量分别为 0.52%~0.31%^[46]和 1.55%^[45], 满足反刍动物饲料中对单宁含量的要求, 高于猪、鸡等单胃动物的适应范围, 可通过青贮或发酵等处理以达到最佳的饲用效果; 二者 ADF 含量均较低, 且杂交构树中木质素含量 (15.72%)^[45]低于桑树 (19.28%)^[47]和胡枝子 (*Lespedeza davurica*) (17.73%)^[48]等木本饲料植物, 可采取多次平茬

刈割的方式控制卡亚和杂交构树的木质素含量, 以保障其作为饲料原料的品质。

卡亚作为引种新资源, 对适生条件有一定的要求, 目前在我国种植面积较小, 但作为新型木本蛋白饲料资源, 其各种营养成分的含量和比例均优于我国原生物种杂交构树。因此, 为更好地开发和利用卡亚和杂交构树这2种优质木本蛋白饲料植物, 在加强栽培技术研究的同时, 应注重卡亚的适生区域的扩大和适宜我国气候的新品种选育, 将荒山造林、林下经济与卡亚、杂交构树结合起来, 统筹发展, 不仅能够缓解我国养殖业和饲料业对蛋白饲料资源的需求, 还能实现创建“以树代粮”和“种养循环”的生态农牧业经济模式, 对农村脱贫、环境保护、生态修复具有重要意义。

参考文献

- [1] 尹杰, 刘红南, 李铁军, 印遇龙. 我国蛋白质饲料资源短缺现状与解决方案[J]. 中国科学院院刊, 2019, 34(1): 89-93.
YIN J, LIU H N, LI T J, YIN Y L. Current situation and developmental suggestions on shortage of feeding protein resources in Chinese pig industry[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(1): 89-93. (in Chinese)
- [2] 胡鸿姣, 刘新平, 张铜会, 何玉惠, 王明明, 张腊梅, 孙珊珊, 程莉. 小叶锦鸡儿饲用营养价值及青贮加工[J]. 草业学报, 2021, 30(11): 181-190.
HU H J, LIU X P, ZHANG T H, HE Y H, WANG M M, ZHANG L M, SUN S S, CHENG L. Feed nutritional value and silage processing properties of *Caragana microphylla*[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2021, 30(11): 181-190. (in Chinese)
- [3] 苏立城, 周玮, 陈晓阳, 张永亮, 何茜. 木本饲料资源开发利用的现状与展望[J]. 饲料研究, 2020, 43(4): 107-110.
SU L C, ZHOU W, CHEN X Y, ZHANG Y L, HE Q. Current situation and prospect of development and utilization of woody feed resources[J]. Feed Research, 2020, 43(4): 107-110. (in Chinese)
- [4] SLIVA M D A, CAMEIRO M S S, PINTO A P, POMPEU R C F F, SILVA D S, COUTINHO M J F, FONTENELE R M. Evaluation of the chemical composition of woody forage silages of the Brazilian semiarid[J]. Semina Ciencias Agrarias, 2015, 36(1): 571-577.
- [5] JAYASHREE K V, GOPUKUMAR S T. Estimation of qualitative and quantitative phytochemical screening of *Cnidoscopus aconitifolius* latex[J]. Journal of Applied Science and Computations, 2018, 5(10): 1638-1648.
- [6] 魏秋兰, 钟连香, 卢娟, 张晓宁, 覃子海, 刘海龙. 不同处理因子对卡亚扦插生根的影响[J]. 广西林业科学, 2021, 50(3): 314-318.
WEI Q L, ZHONG L X, LU J, ZHANG X N, QIN Z H, LIU H L. Effects of different factors on rooting of *Cnidoscopus aconitifolius*[J]. Guangxi Forestry Science, 2021, 50(3): 314-318. (in Chinese)
- [7] 赵海伊, 游巧宁, 于文书, 周才琼. 重庆产木菠菜的营养成分及营养价值评价[J]. 食品科学, 2011, 3(5): 267-269.
ZHAO H Y, YOU Q N, YU W S, ZHOU C Q. Nutrients and nutritional value of tree spinach grown in Chongqing[J]. Food Science, 2011, 3(5): 267-269. (in Chinese)
- [8] 古敏, 张石虎, 周玮, 何茜, 陈晓阳. 树菠菜作为新型蛋白饲料资源的研究[J]. 饲料研究, 2021, 44(13): 126-129.
GU M, ZHANG S H, ZHOU W, HE Q, CHEN X Y. Research on *Cnidoscopus aconitifolius* as a new protein feed resource[J]. Feed Research, 2021, 44(13): 126-129. (in Chinese)
- [9] FABIOLA E E, ILKA C, VICTOR P T, LUIS M P. Chemical composition of the epicuticular wax of *Cnidoscopus aconitifolius*[J]. Revista de la Sociedad Química de México, 2004, 48(1): 24-25.
- [10] 游巧宁. 卡亚叶营养成分分析及调节血糖作用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
YOU Q N. Studies on the hypoglycemic effect of new resources Chaya[D]. Chongqing: Southwest University, 2010. (in Chinese)
- [11] LIAO S X, DENG Z H, CUI K, CUI Y Z, ZHANG C H. Genetic diversity of *Broussonetia papyrifera* populations in southwest China[J]. Genetics and Molecular Research, 2014, 13(3): 7553-7563.
- [12] 施海娜, 梁万鹏, 刘雨田, 徐振飞, 张金霞, 李世恩, 高钰, 朱正生. 杂交构树饲用营养价值分析[J]. 营养与饲料, 2019, 39(1): 25-28.
SHI H N, LIANG W P, LIU Y T, XU Z F, ZHANG J X, LI S E, GAO Y, ZHU Z S. Analysis on feeding nutritive value of hybrid *Broussonetia papyrifera*[J]. Nutrition and Feed, 2019, 39(1): 25-28. (in Chinese)
- [13] 王冶, 丁向阳, 吕国金, 龚小娇. 杂交构树饲用价值研究进展[J]. 河南林业科技, 2021, 41(4): 20-22.
WANG Y, DING X Y, LV G J, GONG X J. Advances in the study of the value of hybrid tree feeding[J]. Journal of Henan Forestry Science and Technology, 2021, 41(4): 20-22. (in Chinese)
- [14] 黄炎坤, 李杨, 徐思源, 杨朋坤, 刘健, 马伟, 邓红雨. 杂交构树饲料资源的开发利用[J]. 现代牧业, 2020, 4(3): 53-57.
HUANG Y K, LI Y, XU S Y, YANG P K, LIU J, MA W, DENG H Y. Development and utilization of feed resources

- of hybrid brassica[J]. Modern Animal Husbandry, 2020, 4(3): 53-57. (in Chinese)
- [15] 贺春禄, 蒋剑春. 推广杂交构树是中国产业扶贫新途径[J]. 高科技与产业化, 2019(4): 16-20.
HE C L, JIANG J C. The popularization of hybrid brassica is a new approach to poverty alleviation by industry in China[J]. High-Technology & Commercialization, 2019(4): 16-20. (in Chinese)
- [16] 李泽民, 张晨, 张崇玉, 张桂国. 不同品种苜蓿中营养成分相互关系及生物产量[J]. 中国农业科学, 2020, 53(6): 1269-1277.
LI Z M, ZHANG C, ZHANG C Y, ZHANG G G. The relationship between nutrients and biological yield of different varieties of alfalfa[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2020, 53(6): 1269-1277. (in Chinese)
- [17] IKEWUCHI J C, IKEWUCHI C C, IFEANACHO M O. Nutrient and bioactive compounds composition of the leaves and stems of *Pandiaka heudelotii*: a wild vegetable[J]. Heliyon, 2019, 5(4): e01501.
- [18] ROHWEDER D A, BARNES R F, JORGENSEN N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality[J]. Journal of Animal Science, 1978, 47(3): 747-759.
- [19] 韩友文. 饲料常规概略养分分析方案[J]. 饲料博览, 2004(2): 48.
HAN Y W. General outline of feed nutrient analysis programme[J]. Feed Review, 2004(2): 48. (in Chinese)
- [20] 虞道耿. 海南莎草科植物资源调查及饲用价值研究[D]. 海口: 海南大学, 2012.
YU D G. The resources and feeding value of Cyperaceae in Hainan[D]. Haikou: Hainan University, 2012. (in Chinese)
- [21] 李茂, 字学娟, 周汉林, 刘国道, 侯冠彧, 徐铁山. 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, LIU G D, HOU G Y, XU T S. Feeding value assessment of some tropical shrubs in Hainan province[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2012, 24(1): 85-94. (in Chinese)
- [22] 中国畜牧业协会. 苜蓿干草质量分级: T/CAAA 001—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
China Animal Agriculture Association. Quality grading of alfalfa hay: T/CAAA 001—2018[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018. (in Chinese)
- [23] 沈芳, 袁浩荣, 王迅, 杨英魁, 柴沙驼. 青海欧拉型妊娠母羊饲料钙磷适宜水平的研究[J]. 饲料工业, 2022, 43(5): 14-20.
SHEN F, YUAN H R, WANG X, YANG Y K, CHAI S T. Study on the suitable dietary calcium and phosphorus level for Qinghai Oula pregnant ewes[J]. Feed Industry Magazine, 2022, 43(5): 14-20. (in Chinese)
- [24] FAO/WHO. Energy and protein requirement[R]. Geneva: WHO, 1973.
- [25] 姜文清, 周志宇, 秦彧, 王楠, 王桃, 李晓忠, 田发益. 西藏栽培牧草中氨基酸组成特点的研究[J]. 草业学报, 2010, 19(5): 148-155.
JIANG W Q, ZHOU Z Y, QIN Y, WANG N, WANG T, LI X Z, TIAN F Y. Characteristics of amino acid constitution of cultivated forages in Tibet province[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(5): 148-155. (in Chinese)
- [26] 刘磊, 李福昌, 杨鹏程, 张崇玉. 饲料粗纤维、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维残渣中各成分的的研究[J]. 动物营养学报, 2018, 30(3): 1044-1051.
LIU L, LI F C, YANG P C, ZHANG C Y. Study of components in residues of crude fiber, neutral detergent fiber and acid detergent fiber in feed[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2018, 30(3): 1044-1051. (in Chinese)
- [27] 陈艳, 王之盛, 张晓明, 吴发莉, 邹华围. 常用粗饲料营养成分和饲用价值分析[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 117-125.
CHEN Y, WANG Z S, ZHANG X M, WU F L, ZOU H W. Analysis of the nutritional components and feeding values of commonly used roughages[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2015, 24(5): 117-125. (in Chinese)
- [28] 常军, 彭杰, 刘晓明, 高喜荣. 木本饲料植物资源开发利用[J]. 河南农业, 2010(11): 50-51.
CHANG J, PENG J, LIU X M, GAO X R. Development and utilization of woody forage plant resources[J]. Agriculture of Henan, 2010(11): 50-51. (in Chinese)
- [29] 赵加涛, 杨向红, 付正波, 字尚水, 刘猛道. 不同大麦品种饲草产量及品质研究[J]. 中国农学通报, 2021, 37(27): 27-31.
ZHAO J T, YANG X H, FU Z B, ZI S S, LIU M D. Yield and quality of forage grass of different barley varieties[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, 37(27): 27-31. (in Chinese)
- [30] 熊本海, 罗清尧, 赵峰. 中国饲料成分及营养价值表(2016年第 27 版)制订说明[J]. 中国饲料, 2016(21): 33-43.
XIONG B H, LUO Q Y, ZHAO F. The feed composition and nutritional value table developed suggests (the 27th edition in 2016)[J]. China Feed, 2016(21): 33-43. (in Chinese)
- [31] 曾昭成, 张祖兵, 雷福红, 欧阳吾乐, 谢瞰, 李海泉, 郭爱伟. 辣木茎叶营养成分及多酚提取物体外抗氧化研究[J]. 西南林业大学学报, 2020, 40(2): 179-183.
ZENG Z C, ZHANG Z B, LEI F H, OUYANG W L, XIE K, LI H Q, GUO A W. Analyses of nutritional components and antioxidant activity of polyphenol extracts from stems and leaves of *Moringa oleifera*[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2020, 40(2): 179-183. (in Chinese)
- [32] 弓剑. 柠条叶粉对羊的饲用价值的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.

- GONG J. Research on feeding value of peashrub leaf meal to sheep and goat[D]. Yanglin: Northwest Agriculture & Forestry University, 2004. (in Chinese)
- [33] 李朝英, 郑路, 杨文娟, 莫世宇. 用范氏法测定多类植物中酸性洗涤木质素的影响因素研究[J]. 江西农业学报, 2019, 31(3): 61-64.
- LI C Y, ZHENG L, YANG W J, MO S Y. Research on factors affecting determination of acid detergent lignin in many types of plants by using Van Soest method[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2019, 31(3): 61-64. (in Chinese)
- [34] 王鹏. 辣木的营养价值评定及对母猪繁殖性能的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2018.
- WANG P. Improvements on reproduction performances in sows after oral administration of *Moringa oleifera*[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2018. (in Chinese)
- [35] 邱代飞. 饲料中粗脂肪两种测定方法的比较探讨[J]. 广东饲料, 2012, 21(9): 40-42.
- QIU D F. Comparison of two methods for determining crude fat in feed[J]. Guangdong Feed, 2012, 21(9): 40-42. (in Chinese)
- [36] 吴洪丽, 郝瑜, 周洪英, 孙波. 饲料桑开发应用与研究进展[J]. 北方蚕业, 2017, 38(3): 1-5.
- WU H L, HAO Y, ZHOU H Y, SUN B. Research progress on development of forage mulberry[J]. North Sericulture, 2017, 38(3): 1-5. (in Chinese)
- [37] 翟桂玉. 山东省高产速生木本饲料的生产与利用[J]. 当代畜牧, 2019(9): 7-9.
- ZHAI G Y. Performance of production and utilization of high-yield and fast-growing woody fodder plants in Shandong province[J]. Contemporary Animal Husbandry, 2019(9): 7-9. (in Chinese)
- [38] 梁祖铎. 青饲料的营养评价与生产价值[J]. 饲料研究, 1981(2): 10-14.
- LIANG Z D. Nutritional evaluation and production value of green feed[J]. Feed Research, 1981(2): 10-14. (in Chinese)
- [39] VICTOR M, ABBEY P A, JOSEPH Y, JONATHAN Z, BOBAI Y K, MARIA O. An underexploited tropical plant with promising economic value and the window of opportunities for researchers: *Cnidocolus aconitifolius*[J]. American Journal of Food Science and Nutrition Research, 2016, 3(6): 177-187.
- [40] 刘兴华, 朱荣生, 王怀中, 陈娟, 齐波, 孙守礼, 成建国, 黄保华, 呼红梅, 王思贵. 规模化猪场配合饲料和猪粪中矿物质元素含量特征[J]. 山东农业科学, 2019, 51(8): 84-90.
- LIU X H, ZHU R S, WANG H Z, CHEN J, QI B, SUN S L, CHENG J G, HUANG B H, HU H M, WANG S G. Characteristics of mineral element content in formula feed and manure in intensive pig farms[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2019, 51(8): 84-90. (in Chinese)
- [41] 张百顺, 张华, 王晓艳, 魏冬梅, 关军. 微量矿物元素在猪营养中的作用[J]. 吉林畜牧兽医, 2004(7): 51.
- ZHANG B S, ZHANG H, WANG X Y, WEI D M, GUAN J. The role of trace mineral elements in pig nutrition[J]. Jilin Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, 2004(7): 51. (in Chinese)
- [42] 张倚剑, 施寿荣, 胡艳, 姚宏, 刘良基, 张倩芸, 童海兵, 梁明振. 饲料钙水平和饲喂方式对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋壳质量和钙代谢的影响[J]. 动物营养学报, 2021, 33(9): 4966-4979.
- ZHANG Y J, SHI S R, HU Y, YAO H, LIU L J, ZHANG Q Y, TONG H B, LIANG M Z. Effects of dietary calcium level and feeding mode on performance, eggshell quality and calcium metabolism of laying hens in late laying period[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(9): 4966-4979. (in Chinese)
- [43] 路博文, 姜雯, 申文强, 马秋刚. 构树的营养价值及其饲用技术研究进展[J]. 饲料研究, 2021, 44(17): 109-113.
- LU B W, JIANG W, SHEN W Q, MA Q G. Nutritional value of paper mulberry and its progress on forage technology[J]. Feed Research, 2021, 44(17): 109-113. (in Chinese)
- [44] 中国饲料数据库情报中心. 中国饲料成分及营养价值表 2009 年第 20 版[J]. 中国饲料, 2009(21): 30-35.
- China Feed Database Information Center. Table of feed composition and nutritional value in China, the 20th edition in 2009[J]. China Feed, 2009(21): 30-35. (in Chinese)
- [45] 邛植, 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.
- PI Z, SHEN S H. Research on paper mulberry as a new type of protein feedstuff[J]. Feed Industry Magazine, 2018, 39(11): 23-28. (in Chinese)
- [46] 范东翠. 卡亚抗营养因子及其失活条件研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010.
- FAN D C. Antinutritional factor analysis and effect of treatment processing on them in Chaya[D]. Chongqing: Southwest University, 2010. (in Chinese)
- [47] 李玉秀, 雷亚芳. 桑树幼树条、杜仲条和柳条木材化学成分及其在树干上的变异研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2016, 44(5): 127-132.
- LI Y X, LEI Y F. Chemical components and their variations along tree stem of young branches of *Ramulus mori*, *Eucommia ulmoides* and *Tamarix ramosissima*[J]. Journal of Northwest A & F University (Nat. Sci. Ed.), 2016, 44(5): 127-132. (in Chinese)
- [48] 赵祥, 邢毅, 董宽虎. 居群与生育期对达乌里胡枝子营养价值的影响[J]. 中国草地学报, 2010, 32(3): 112-116.
- ZHAO X, XING Y, DONG K H. Effects of populations and growth stages on nutritional value of *Lespedeza davurica*[J]. Chinese Journal of Grassland, 2010, 32(3): 112-116. (in Chinese)