

DOI: 10.11829/j.issn.1001-0629.2018-0246

董祥, 郝俊, 陈秋生, 王飞. 喀斯特地区白刺花营养物质和酚类物质的含量动态. 草业科学, 2019, 36(2): 450-457.

DONG X, HAO J, CHEN Q S, WANG F. The dynamic variations in nutrient and phenolic content in *Sophora davidii* in a Karst region of Guizhou Province. Pratacultural Science, 2019, 36(2): 450-457.

喀斯特地区白刺花营养物质和 酚类物质的含量动态

董祥¹, 郝俊¹, 陈秋生^{1,2}, 王飞¹

(1. 贵州大学动物科学学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 遵义市农业农村局, 贵州 遵义 563000)

摘要: 以贵州喀斯特地区饲用灌木白刺花 (*Sophora davidii*) 为研究对象, 探讨其不同生育期常规营养物质和酚类物质的含量变化趋势。结果表明, 粗蛋白在营养期、开花期、结荚期显著高于成熟期 ($P < 0.05$), 无氮浸出物、粗灰分和粗脂肪含量随白刺花生育期延长而降低 ($P < 0.05$); 干物质、粗纤维、酸性洗涤纤维、中性洗涤纤维和钙含量随生育期延长而升高 ($P < 0.05$); 单宁含量在白刺花各生育时期内差异不显著 ($P > 0.05$), 但有降低的趋势, 其他酚类物质随着生育期延长而降低 ($P < 0.05$)。开花期和结荚期单宁含量较营养期低, 且这两个生育期粗蛋白含量和饲料相对值高, 具有较好的饲喂价值。综合考虑, 建议白刺花的最佳利用时期为开花期到结荚期。本研究可为白刺花在贵州喀斯特山地畜牧业中的高效利用提供重要的理论支撑。

关键词: 白刺花; 营养物质; 酚类物质; 饲料相对值

中图分类号: S816.15 文献标志码: A 文章编号: 1001-0629(2019)02-0450-08

The dynamic variations in nutrient and phenolic content in *Sophora davidii* in a Karst region of Guizhou Province

DONG Xiang¹, HAO Jun¹, CHEN Qiusheng^{1,2}, WANG Fei¹

(1. College of Animal Science, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China;

2. Zunyi Municipal Bureau of Agriculture and Rural Affairs, Zunyi 563000, Guizhou, China)

Abstract: The dynamic variations of nutrient and phenolic content in *Sophora davidii* in a Karst region of the Guizhou Province were investigated in the study. Results showed that the content of crude protein in the vegetative, flowering, and seed set stages was higher than in the maturation stage ($P < 0.05$). The content of nitrogen free extract, crude ash, and ether extracts decreased with the increasing growth period ($P < 0.05$). The content of dry matter, crude fiber, acid detergent fiber, neutral detergent fiber, and calcium increased with the increasing growth period ($P < 0.05$). The content of tannin had no significant relationship with the different growth stages ($P > 0.05$); however, other phenolics decreased with the increasing growth period ($P < 0.05$). The content of tannin in the flowering and seed set stages was more suitable for feeding animals than in the vegetative stage, while higher crude protein and relative forage values were also obtained in the former. Considering all factors, we suggest that the best utilization period for feeding animals with *Sophora davidii* is from the flowering to seed set stages. This study can provide theoretical support for the efficient use of *Sophora davidii* in animal husbandry in the Karst areas of Guizhou Province.

收稿日期: 2018-04-27 接受日期: 2018-07-18

基金项目: 贵州省科技重大专项计划 [黔科合重大专项字 (2016)3002 号]; 贵州省留学人员科技创新项目 (黔人项目资助合同 [2015]07)

第一作者: 董祥 (1992-), 男, 贵州安顺人, 在读硕士生, 主要从事草地放牧生态与利用研究。E-mail: doxi7@hotmail.com

通信作者: 郝俊 (1984-), 男, 山西静乐人, 副教授, 硕导, 博士, 主要从事草地放牧生态与利用研究。E-mail: jhiao@gzu.edu.cn

Keywords: *Sophora davidii*; nutrients; phenolic substance; relative feed value

Corresponding author: HAO Jun E-mail: jhao@gzu.edu.cn

白刺花 (*Sophora davidii*), 又名狼牙刺, 为豆科蝶形花亚科槐属, 多年生落叶, 有刺, 是贵州喀斯特地区常见的具有开发潜力的豆科灌木。因其具有生长速度快、枝叶多、产量高、营养物质丰富、耐践踏、耐刈割、耐寒、耐热、耐旱、耐贫瘠、水土保持等特点, 常作为石漠化地区植被恢复的先锋物种和重要的饲料资源而被广泛利用^[1]。贵州地区的放牧山羊日粮中灌木占了绝大部分比例, 草本植物只占少量比例, 通常山羊对灌木嫩枝叶的采食量占全部日粮的 50%~80%, 甚至会出现单一采食灌木的情况^[2]。然而灌木类饲用植物含酚类物质, 且在岩溶脆弱等极端环境条件下这类物质还存在增加的趋势, 其含量会直接影响家畜的采食量、消化率和健康水平, 对家畜生产存在一定的制约, 其含量过高时会降低畜牧业生产水平^[3]。研究表明, 单宁有抗营养作用, 主要表现在降低家畜摄食率和营养物质生物利用率, 单宁及其降解产物对家畜的直接毒害作用, 会引起家畜中毒和其他的不良反应^[4-5]。然而, 也有研究发现, 适当提高反刍动物饲料中的单宁含量对采食量几乎不产生影响, 但可提高过瘤胃食糜中非氮氮的比例, 促进瘤胃尿素氮的循环, 提高主要必需氨基酸的利用效率, 虽然蛋白质的表观消化率有可能降低, 但总的氮沉积率得到提高^[6]。

此前针对贵州喀斯特地区白刺花的研究主要集中在遗传变异^[7-8]及其种子的化学成分^[9]、贮藏蛋白遗传多样性^[10]、染色体核型分析^[11]等方面, 有关生产利用的研究较少。为此, 本研究通过对贵州地区豆科灌木白刺花不同生育时期常规营养物质和酚类物质的含量进行分析, 探讨其动态变化规律, 并通过比较不同时期饲料相对值和酚类物质含量, 最终确定白刺花的最佳利用时期, 以期为促进贵州喀斯特山地畜牧业发展以及将白刺花作为生态农业协调发展的重要灌木提供理论支撑。

1 材料与方 法

1.1 研究区自然概况

采样地位于贵州省贵阳市花溪区, 地理位置

26°11'–26°34' N、106°27'–106°52' E, 最高海拔 1 712.1 m, 最低海拔 999 m。属亚热带季风湿润气候, 具有明显的高原性气候特点, 冬无严寒, 夏无酷暑, 气候温和, 雨量充沛, 雨热同季, 春秋气候多变, 垂直气候差异明显。年均温 14.9 °C, 年总积温 5 585 °C·d, 年均日照时数 1 278 h, 无霜期 270 d, 年均降水量 1 178 mm, 年平均相对湿度 75%。自然土壤以硅铝质黄壤、黄色石灰土分布最广^[12]。

1.2 材料的采集与制备

试验材料为贵州喀斯特地区的野生白刺花, 在整个采样过程中观察白刺花的形态、生长发育和生理特征变化后划分具体的生育期, 此生境下白刺花在 10–12 月叶子不会枯黄, 只会少量掉荚, 所以白刺花在贵州地区每年可划分为 4 个生育期, 分别是 1–3 月营养期、4–6 月开花期、7–9 月结荚期、10–12 月成熟期。在每个生育期对应的 3 个月份的中旬(即每月 15 号左右)采样, 并取算术平均值作为生育期的营养物质和酚类物质含量。

采样时间跨度为 2016 年全年, 随机选取一株白刺花, 收集不同部位顶端嫩枝叶样品约 500 g(采集长度为 10 cm 左右), 共 3 次重复。样品经过 105 °C 杀青 15 min 后, 于 65 °C 烘箱烘干至恒重。把烘干的样品全部粉碎并过筛(筛孔尺寸为 0.425 mm), 用自封袋封装、编号, 保存备测。

1.3 样品测定指标及测定方法

常规营养物质指标有干物质(DM)、粗蛋白(CP)、粗脂肪(EE)、粗纤维(CF)、粗灰分(Ash)、无氮浸出物(NFE)、中性洗涤纤维(NDF)和酸性洗涤纤维(ADF)。矿物质指标有钙(Ca)和磷(P)。CP、EE、CF、Ash、NFE、Ca 和 P 含量参照张丽英的方法测定(以 DM 为基础)^[13]; NDF 和 ADF 含量按照 Goering 和 Van Soest 的方法测定^[14]。

酚类物质主要测定指标有单宁(TET)、缩合单宁(TECT)、总酚(TEPH)和简单酚(SPH)。TET 含量测定采用福林酚比色法, TECT 含量的测定采用香草醛比色法, TEPH 含量的测定采用 Folin 酚法, 具体测定方法和步骤见陈秋生的^[15]。SPH 为 TEPH 与 TET 的差值^[16]。

饲料相对值 (Relative feed value, RFV)^[17] 是由美国饲草和草原理事会下属的干草市场全国饲草协会确认的粗饲料相对价值指数, 其定义为, 相对某一特定标准粗饲料 (盛花期苜蓿 RFV 值为 100), 某种粗饲料可消化干物质的采集量。RFV 值越大, 说明该种牧草的营养价值越高。

RFV^[18] 计算公式为:

$$\text{RFV} = \text{DMI} \times \text{DDM} / 1.29;$$

$$\text{DMI} = 120 / \text{NDF};$$

$$\text{DDM} = 88.9 - 0.779 \text{ ADF}。$$

式中: DMI(dry matter intake) 为粗饲料干物质的随意采食量; DDM (digestible dry matter) 为可消化的干物质。NDF 为中性洗涤纤维; ADF 为酸性洗涤纤维。

1.4 数据统计与分析

取 3 次重复的算数平均值为当月的测定值, 再取每个生育期对应月份的算术平均值作为每生育期的测定数据。采用 Microsoft Excel 2007 软件记录和统计数据、SPSS 20.0 对数据进行单因素方差分析 (one-way ANOVA) 和 Duncan 多重比较, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著性判断标准, 结果以“平均值 \pm

标准差”形式表示。

2 结果与分析

2.1 白刺花 4 个生育期营养物质含量的动态

白刺花的营养物质含量在不同生育期存在波动变化 (表 1)。其中 NFE 和 EE 含量先上升, 到开花期最高, 分别为 20.73% 和 7.91%, 之后随生育期延长而显著降低 ($P < 0.05$)。CP 在营养期、开花期、结荚期的差异不显著 ($P > 0.05$), 但在成熟期的含量比前 3 个生育时期低 ($P < 0.05$), 4 个生育期白刺花幼嫩枝叶的 CP 含量平均为 24.43%。CF、DM、ADF、NDF 与 Ca 的含量均随白刺花生育期的延长而增加, 在成熟期达到最大, 其含量分别为 23.68%、77.26%、29.45%、35.28%。Ash 在营养期最大 (6.67%), 而在成熟期最小 (4.84%), 随生育期延长显著降低 ($P < 0.05$)。P 在 4 个生育期之间差异不显著 ($P > 0.05$), 平均值为 0.19%。总体来讲, CP 含量变化不明显, CF、ADF、NDF 等含量上升, Ash 含量下降, 白刺花总体营养成分可利用程度不断降低。

表 1 不同生育期白刺花营养物质含量
Table 1 Nutritional content of *Sophora davidii* at different growth stages

指标 Parameter	营养期 Nutritional stage	开花期 Flowering stage	结荚期 Seed set stage	成熟期 Maturation stage	平均值 Average
干物质 Dry matter(DM)	66.23 \pm 0.34d	72.07 \pm 0.59c	75.93 \pm 0.21b	77.26 \pm 0.18a	72.87
粗蛋白 Crude protein(CP)	24.87 \pm 0.04a	24.93 \pm 0.09a	24.67 \pm 0.54a	23.27 \pm 0.12b	24.43
粗纤维 Crude fiber(CF)	19.78 \pm 0.29c	23.11 \pm 0.03b	23.38 \pm 0.16ab	23.68 \pm 0.28a	22.49
酸性洗涤纤维 Acid detergent fiber(ADF)	24.38 \pm 0.24c	25.49 \pm 0.97b	28.78 \pm 0.04a	29.45 \pm 0.21a	27.03
中性洗涤纤维 Neutral detergent fiber(NDF)	30.02 \pm 0.42d	30.97 \pm 0.02c	33.60 \pm 0.47b	35.28 \pm 0.16a	32.47
无氮浸出物 Nitrogen free extract(NFE)	15.99 \pm 0.17c	20.73 \pm 1.22a	17.91 \pm 0.65b	9.78 \pm 0.61d	16.10
粗灰分 Crude ash(Ash)	6.67 \pm 0.29a	6.16 \pm 0.03b	5.51 \pm 0.18c	4.84 \pm 0.14d	5.80
粗脂肪 Ether extracts(EE)	7.42 \pm 0.02b	7.91 \pm 0.01a	7.25 \pm 0.02c	5.76 \pm 0.04d	7.09
钙 Calcium(Ca)	0.89 \pm 0.09c	0.97 \pm 0.07bc	1.13 \pm 0.67ab	1.20 \pm 0.16a	1.05
磷 Phosphorus(P)	0.18 \pm 0.01a	0.20 \pm 0.01a	0.18 \pm 0.01a	0.19 \pm 0.02a	0.19

同行不同小写字母表示不同生育期之间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

Different lowercase letters within the same row indicate significant difference between different growth stages at the 0.05 level; similarly for the following tables.

2.2 白刺花 4 个生育期酚类物质的含量动态

TEPH 含量随生育期延长总体趋势下降, 在成

熟期显著低于营养期 ($P < 0.05$), 但是开花期到结荚期之间变化不显著 ($P > 0.05$)。TET 含量在 4 个生

育期内差异都不显著，平均值为 $59.91 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，以营养期的含量最大，为 $64.09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，总体上随着生育期的延长，TET 含量呈现下降的趋势。TECT 营养期含量显著高于其他生育期 ($P < 0.05$)，随生育期延长不断下降，但在开花期、结荚期和成熟期之间差异不显著 ($P > 0.05$)。SPH 含量随生育期

的延长总体表现为下降的趋势，但在结荚期时稍高于开花期 ($P < 0.05$)。4 种酚类物质含量均在营养期最大，TEPH、TET、TECT、SPH 分别为 69.93 、 64.09 、 37.05 和 $15.51 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (表 2)。由此可见，4 种酚类物质在营养期维持较高水平，之后总体呈下降趋势。

表 2 白刺花不同生育期酚类物质含量
Table 2 Phenolic content of *Sophora davidii* at different growth stages

指标 Parameter	营养期 Nutritional stage	开花期 Flowering stage	结荚期 Seed set stage	成熟期 Maturation stage	平均值 Average
总酚 Total phenols (TEPH)	$69.93 \pm 4.98a$	$62.70 \pm 3.95ab$	$65.06 \pm 6.28ab$	$58.33 \pm 3.58b$	64.01
单宁 Tannin (TET)	$64.09 \pm 1.94a$	$62.40 \pm 3.35a$	$58.04 \pm 9.12a$	$55.12 \pm 1.61a$	59.91
缩合单宁 Condensed tannin (TECT)	$37.05 \pm 0.89a$	$32.00 \pm 1.83b$	$31.94 \pm 1.69b$	$30.59 \pm 3.43b$	32.89
简单酚 Simple phenols (SPH)	$15.51 \pm 0.47a$	$13.10 \pm 0.16c$	$13.66 \pm 0.05b$	$11.87 \pm 0.26d$	13.54

2.3 白刺花 4 个生育期饲料相对值动态

白刺花的 RFV 值在 4 个生育期之间差异显著 ($P < 0.05$)，随着生育期的延长逐渐降低 (表 3)。其中营养期 RFV 值最大 (227.80)，成熟期 RFV 值最小 (185.78)。4 个生育期 RFV 值都大于 100，具有较高的饲喂价值。

表 3 白刺花各生育时期饲料相对值
Table 3 Relative value of feed at each growth period of *Sophora davidii*

生育期 Stage	饲料相对值 Relative feed value (RFV)
营养期 Nutritional stage	$227.80 \pm 3.82a$
开花期 Flowering stage	$212.94 \pm 0.19b$
结荚期 Seed set stage	$195.73 \pm 3.04c$
成熟期 Maturation stage	$185.78 \pm 0.99d$
平均值 Average	205.56

3 讨论

3.1 白刺花营养物质的动态变化

CP 是衡量牧草饲料营养品质的一个重要指标。郭彦军等^[19]的研究结果发现，植物植株成熟度越高，CP 含量越低。这可能是随着植物成熟度的增加，枝叶枯萎、细胞壁增多、茎中的 CF 含量也增多，导致木质化程度升高，造成植株中 CP 含

量较生长前期低^[20-21]。然而，本研究中白刺花幼嫩枝叶的 CP 在营养期到结荚期无明显变化，仅在成熟期降低，这可能是样品采集的部位不同造成的。之前的研究大多收集牧草全部植株进行样品分析，故 CP 含量会随生育期的延长而降低。本研究考虑到白刺花在野外被家畜采食的实际状况，选择了顶端幼嫩枝叶 (长度 10 cm 左右) 进行样品采集，导致不同生育期时期的 CP 含量无明显差异。

EE 包括植物脂肪、游离脂肪酸、磷脂以及脂溶性维生素等^[22]，可转化为能量供家畜利用和维持体温。EE 的重要性仅次于 CP^[23]，具有芳香气味，其含量直接影响白刺花营养品质和适口性。本研究中白刺花 EE 在开花期含量最高，可以结合 TET 含量在合理范围内加强对其利用。

随着生育期的延长，植物逐渐衰老，细胞壁成分逐渐增多，细胞内容物逐渐减少，导致茎、叶木质化程度加深，CF 含量上升^[20]。陈碧成等^[22]研究发现，随着牧草生育期的延长，NDF 也随着 CF 含量的增加而增加，在成熟期时达到最高，这与本研究结果一致。

NFE 是干物质中除粗蛋白、粗脂肪、粗纤维、灰分以外的营养成分，主要包括淀粉、葡萄糖、果糖、蔗糖、糊精、五碳糖胶、有机酸等^[24]。随着生育期延长，NFE 在生殖器官中分配量会逐渐多于营养生长器官，因此 NFE 的总体趋势是随生育

期的延长而下降。

Ash 主要成分是无机物, 包括矿物质氧化后的产物、盐类, 其中以硅所占的比重较大, 有时还含有少量泥沙, 在植物体中造成其组成成分产生差异的因素主要是土壤和外界养分^[25], 本研究中白刺花 Ash 含量随生育期延长不断下降可能是因为随着生育期延长, 土壤中养分物质含量(矿质元素, 比如硅的含量)下降所导致^[26-27]。Ca 和 Ash 含量有着不同的变化趋势, Ca 含量升高可能的原因是其在植物中不能转移, 造成 Ca 的不断积累而升高。而 P 含量在 4 个生育期差异不显著的原因则可能是老叶中的 P 可以转移到嫩叶中^[28]。

3.2 白刺花的酚类物质的动态变化

白刺花的酚类物质含量高低会直接影响家畜的采食量和健康水平。本研究中白刺花酚类物质含量总体表现为 TEPH > TET > TECT > SPH, 与文亦芾等^[29]的研究结果一致。TET 是制约饲用植物营养物质吸收利用的重要因子之一, 其含量在植物体中低于 5% 时对家畜采食无不良影响, 反之, 超过 5% 时 TET 与家畜口腔中蛋白反应产生涩味和收敛感, 降低家畜适口性和采食量^[30-31]。本研究中白刺花在各个生育期 TET 含量都高于 5%, 表明白刺花各个时期 TET 含量对家畜采食量都有影响, 建议不要对家畜单独饲喂大量白刺花, 可搭配禾本科牧草等饲料降低总体 TET 含量, 用于饲喂或作为功能性饲料少量饲喂。TET 作为多酚类物质, 是植物在长期的进化过程中演化出的一种自身保护性物质, 不同种植物 TET 的结构、生物活性、含量、分子量会因物种不同而产生差异, 并随着环境而变化, 其含量可反映植物生长周期水热和土壤条件^[32]。本研究中白刺花 TET 含量在不同生育期的含量差异不显著, 可能是气候条件变化不明显所导致。

TECT 在植物中的含量超过 6% 时就会降低其营养价值和减少家畜采食量^[33]。本研究中白刺花在营养期、开花期、结荚期、成熟期的 TECT 含量分别是 2.02%、1.75%、1.74% 和 1.67%, 随着生育期延长不断降低, 并且 4 个生育期都小于 6%, 说明白刺花中 TECT 对家畜采食的影响不大。TECT 的形成条件与土壤肥力、温度、降水量、品种、大气中 CO₂ 和氮含量、不同生育期和生长季节等因子有关^[34], 郭彦军^[32]研究发现灌木 TECT 含量随季节推移不断下降, 这与本研究中的 TECT 随着生

育期的推移呈现下降的趋势是一致的。

3.3 白刺花的饲用价值及最佳利用时期

饲用价值一般由营养成分、适口性和消化率构成^[35]。灌木营养成分丰富, 适口性好, 有些甚至与优质牧草相提并论^[36], 这与本研究的结果一致。白刺花样品中 CP 平均含量为 24.43%, 较红三叶 (*Trifolium pretense*)^[37] 和紫花苜蓿 (*Medicago sativa*)^[38] 的 CP 含量高, 其中 CF、Ash 含量较少, 且取样来自嫩枝部分, 含有家畜生长发育所必需的氨基酸、矿物质、EE 和 NFE, 所以其营养价值高、适口性较好。一般认为 TET 是抗营养因子, 特别在热带和亚热带地区植物体中 TET 含量较高^[39], 会影响家畜对白刺花营养物质的吸收利用。但有研究表明, TET 对于反刍动物有营养作用^[40], 家畜采食含适量 TET 的饲用作物后, 能减少肠道中寄生虫数量, 还可预防反刍动物臌胀病、降低甲烷排放量、提高繁殖率。新鲜作物中还含有大量可溶性蛋白质, 被采食后降解很快, TET 的作用就是和蛋白质结合形成复合物, 成为过瘤胃蛋白, 防止其脱氨基作用, 降低其降解速率, 加快经过瘤胃的速度, 最终到达胃和小肠被释放吸收, 以此达到保护瘤胃蛋白的效果, 以减少粗蛋白的浪费。另外, 虽然白刺花 RFV 值随生育期的延长而逐渐降低, 但是本研究中白刺花每个生育期的 RFV 值高于张本瑜和师尚礼^[41]测定 73 份俄罗斯百脉根 (*Lotus corniculatus*) 种质材料的 RFV 值, 也比海南热带灌木^[42] 和 14 种山蚂蝗属 (*Desmodium*) 植物^[43] 的 RFV 值高, 以上都说明了白刺花有较好的营养价值和饲用价值。

4 个生育期中, 白刺花在营养期 RFV 值最大, 但是 TET 含量超过 5%, 对家畜的采食、消化和适口性影响较大, 因此在营养期利用其进行饲喂家畜时, 最好与其他饲料搭配饲喂。白刺花在成熟期 CF 与 ADF 含量升高, 难以被动物体消化吸收, 且 CP 含量和营养成分较低, 因此不是最适合的利用时期。白刺花在开花期和结荚期 CP 含量、RFV 值相对较高, 具有较大的营养成分和饲喂价值。综合考虑后, 开花期和结荚期是饲喂家畜的最佳时期。

4 结论

白刺花营养物质和酚类物质含量随生育期的延

长总体上呈现下降的趋势。议在贵州喀斯特地区的最佳利用时间为开花期到综合考虑白刺花在不同生育期的饲用价值, 建议建 结荚期。

参考文献 References:

- [1] 李莉, 何胜江, 王普昶, 杨学东, 赵丽丽, 刘洪来, 龙忠富. 喀斯特山区特征灌木白刺花的青贮效果. *草业科学*, 2014, 31(10): 1957-1965.
LI L, HE S J, WANG P C, YANG X D, ZHAO L L, LIU H L, LONG Z F. The silage quality of characteristic shrub *Sophora davidii* in Karst mountainous area. *Pratactural Science*, 2014, 31(10): 1957-1965.
- [2] 刘华荣, 龙忠富, 杨义成, 罗天琼, 赵相勇, 卢敏. 贵州九种灌木饲用价值的初步研究. *贵州畜牧兽医*, 2013, 37(4): 60-64.
LIU H R, LONG Z F, YANG Y C, LUO T Q, ZHANG XY, LU M. Initial research on the nutrition value of nine kinds of shrubs in Guizhou Province. *Guizhou Journal of Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 2013, 37(4): 60-64.
- [3] VILLALBA J J, SPACKMAN C, GOFF B M, KLOTZ J L, GRIGGS T, MACADAM J W. Interaction between a tannin-containing Legume and endophyte-infected tall fescue seed on lambs' feeding behavior and physiology. *Journal of Animal Science*, 2016, 94(2): 845-857.
- [4] 艾庆辉, 苗又青, 麦康森. 单宁的抗营养作用与去除方法的研究进展. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2011, 41(Z1): 33-40.
AI Q H, MIAN Y Q, MAI K S. The anti-nutritional effects and the degradations of dietary tannins: A review. *Periodica of Ocean University of China*, 2011, 41(Z1): 33-40.
- [5] 王妍君, 谢开云, 赵祥, 董宽虎. 植物单宁及其对动物的作用研究进展. *草原与草坪*, 2011, 31(4): 82-86.
WANG Y J, XIE K Y, ZHAO X, DONG K H. Research progress on vegetable tannins and its effect on animals. *Grassland and Turf*, 2011, 31(4): 82-86.
- [6] 张子仪. 中国饲料学. 北京: 中国农业出版社, 2000.
ZHANG Z Y. *Chinese Feed Science*. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [7] 李凤涛. $^{60}\text{Co}-\gamma$ 辐射对白刺花诱变效应研究. 贵阳: 贵州大学硕士学位论文, 2015.
LI F T. The studies on irradiation effects of $^{60}\text{Co}-\gamma$ ray on *Sophora viciifolia*. Master Thesis. Guiyang: Guizhou University, 2015.
- [8] 马林. 贵州白刺花遗传变异研究. 贵阳: 贵州大学硕士学位论文, 2015.
MA L. Study on genetic variation of *Sophora davidii* in Guizhou Province. Master Thesis. Guiyang: Guizhou University, 2015.
- [9] 陈青, 杨小生, 朱海燕, 郝小江, 宋宝安. 贵州产白刺花种子的化学成分研究. *中草药*, 2006(7): 986-987.
CHEN Q, YANG X S, ZHU H Y, HAO X J, SONG B A. Study on chemical constituents of *Sophora davidii* seeds in Guizhou Province. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2006(7): 986-987.
- [10] 马林, 王普昶, 姚红艳, 赵丽丽, 陈超, 卢立娜. 贵州 6 个白刺花种群种子贮藏蛋白的遗传多样性. *贵州农业科学*, 2015, 43(3): 5-8.
MA L, WANG P C, YAO H Y, ZHAI L L, CHEN C, LU L N. Genetic diversity of seed storage protein of six *Sophora davidii* populations in Guizhou. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2015, 43(3): 5-8.
- [11] 雷文英, 赵丽丽, 简忠领, 陈超, 宋高翔. 白刺花染色体压片技术优化及核型分析. *种子*, 2017, 36(8): 5-9.
LEI W Y, ZHAO L L, JIAN Z L, CHEN C, SONG G X. Optimization of chromosome preparation and karyotype analysis of *Sophora davidii*. *Seed*, 2017, 36(8): 5-9.
- [12] 颜蒙蒙, 周洲, 王济, 谷晓平, 肖建勇. 喀斯特地区土壤水分随降雨的动态变化研究——以贵阳市花溪区为例. *中国岩溶*, 2016, 35(4): 446-452.
YAN M M, ZHOU Z, WANG J, GU X P, XIAO J Y. Study on the dynamic change of soil moisture in Karst area: A case of Huaxi district in Guiyang City. *Carsologica Sinica*, 2016, 35(4): 446-452.
- [13] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术. 第 3 版. 北京: 中国农业大学出版社, 2007.
ZHANG L Y. *Feed Analysis and Feed Quality Inspection Technology*. 3rd Edition. Beijing: China Agricultural University Press, 2007.
- [14] GOERING H D, VAN SOEST J P. *Forage Fibre Analysis*. US Department of Agriculture, Agriculture. Research Service,

- Washington, DC, 1975.
- [15] 陈秋生. 白刺花营养价值及酚类物质动态分析及生产利用. 贵阳: 贵州大学硕士学位论文, 2017.
CHEN Q S. The dynamic analysis of nutrition and phenols contents and utilization of *Sophora davidii*. Master Thesis. Guiyang: Guizhou University, 2017.
- [16] 廉美娜. 高寒草甸植物多酚含量动态及抗氧化性研究. 兰州: 兰州大学硕士学位论文, 2013.
LIAN M N. Dynamics of total polyphenols and flavonoids concentration of alpine meadow plants and their antioxidant activity. Master Thesis. Lanzhou: Lanzhou University, 2013.
- [17] ROHWEDER D A, BARNES R F, JORGENSEN N. Proposed hay grading standards based on laboratory analyses for evaluating quality. *Journal of Animal Science*, 1983, 47(3): 747-759.
- [18] 张吉鹏, 卢德勋, 刘建新, 包赛娜, 邹庆华, 刘庆华. 粗饲料品质评定指数研究现状及进展. *草业科学*, 2004, 21(9): 55-61.
ZHANG J K, LU D X, LIU J X, BAO S N, ZOU Q H, LIU Q H. The present research situation and progress of crude fodder quality evaluation index. *Pratacultu Ralscience*, 2004, 21(9): 55-61.
- [19] 郭彦军, 龙瑞军, 张德罡, 陈建纲. 东祁连山高寒草甸灌木和牧草营养成分含量季节变化动态. *草业科学*, 2001, 18(6): 36-39.
GUO Y J, LONG R J, ZHANG D G, CHEN J G. The seasonal dynamics of nutrient contents in some dominant shrubs and forage herbs on alpine meadow in eastern Qilian mountain, China. *Pratacultu Ral Science*, 2001, 18(6): 36-39.
- [20] BURNS J C, POND K R, FISHER D S, LUGINBUHL J M. Changes in forage quality, ingestive mastication, and digesta kinetics resulting from switchgrass maturity. *Journal of Animal Science*, 1997, 75(5): 1368.
- [21] JOHNSON J A, CATON J S, POLAND W, KIRBY D R, DHUYVETTER D V. Influence of season on dietary composition, intake, and digestion by beef steers grazing mixed-grass prairie in the northern Great Plains. *Journal of Animal Science*, 1998, 76(6): 1682.
- [22] 陈碧成, 林洁荣, 罗宗志, 叶健军, 焦文静. 巨菌草不同生长时间的常规营养成分及氨基酸含量测定. *贵州农业科学*, 2016, 44(1): 101-113.
CHEN B C, LIN J R, LUO Z Z, YE J J, JIAO W J. Determination of routine nutritional ingredients and amino acid contents of Jujuncao during different growth stages. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2016, 44(1): 101-113.
- [23] 屈言江, 师尚礼. 陇牧草地早熟禾新品系的营养价值评价. *草原与草坪*, 2017, 37(1): 51-60.
QU Y J, SHI S L. Nutritional evaluation of new lines of *Poa pratensis* cv. Longmu. *Grassland and Turf*, 2017, 37(1): 51-60.
- [24] 吴永恒. 仿刺参饲料中粗灰分、粗纤维及无氮浸出物适宜含量的研究及原料的筛选. 青岛: 青岛农业大学硕士学位论文, 2012.
WU Y H. Study on the appropriate content of crude ash, crude fiber and nitrogen free extract in the feed of *Apostichopus japonicus* and the screening of the raw material. Master Thesis. Qingdao: Qingdao Agricultural University, 2012.
- [25] 董晓兵, 郝明德, 肖庆红, 吴焜玥, 刘公社. 不同钾肥施用量对羊草产量、品质及养分吸收的影响. *草原与草坪*, 2015(1): 20-26.
DONG X B, HAO M D, XIANG Q H, WU K Y, LIU G S. Effect of potassium fertilization on the yield, quality and nutrients up take of *Leymus chinensis*. *Grassland and Turf*, 2015(1): 20-26.
- [26] 任灵. 青藏高原高寒草甸土壤与牧草养分在不同培育措施下的季节动态研究. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2016.
REN L. Seasonal dynamics of nutrients in soil and forage of alpine meadow under different cultivations on Qinghai-Tibet Plateau. Master Thesis. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2016.
- [27] 刘恩科. 长期定位不同施肥制度土壤功能衰退与修复研究. 泰安: 山东农业大学硕士学位论文, 2004.
LIU E K. Studies on soil function of degradation and restoration in long-term location different fertilization system. Master Thesis. Tai'an: Shandong Agriculture University, 2004.
- [28] 孙羲, 郭鹏程. 植物营养与肥料. 北京: 中国农业出版社, 1991.
SUN X, GUO P C. Plant Nutrition and Fertilizer. Beijing: China Agriculture Press, 1991.
- [29] 文亦芾, 曹国军, 樊江文, 毛华明, 罗富成. 6种豆科饲用灌木中酚类物质动态变化与体外消化率的关系. *草业学报*, 2009, 18(1): 32-38.
WEN Y F, CAO G J, FAN J W, MAO H M, LUO F C. Relationship between phenols and in vitro digestibility of six legume feeding shrubs. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, 18(1): 32-38.
- [30] COOPER S M, OWEN-SMITH N. Condensed tannins deter feeding by browsing ruminants in a South African Savanna. *Oecologia*, 1985, 67(1): 142-146.

- [31] PROVENZA F D. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. *Journal of Range Management*, 1995, 48(1): 2-17.
- [32] 郭彦军. 高寒草甸几种牧草和灌木缩合单宁含量动态及其饲用价值. 兰州: 甘肃农业大学硕士学位论文, 2000.
GUO Y J. The seasonal dynamics of condensed tannins of some dominant grasses and shrubs on alpine meadow and their feeding values. Master Thesis. Louzhou: Gansu Agricultural University, 2000.
- [33] 王俊宏, 郑向丽, 徐国忠. 缩合单宁功能性研究探讨. *热带农业科学*, 2011, 31(1): 91-95.
WANG J H, ZHENG X L, XU G Z. Discussion on the functions of condensed tannins. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2011, 31(1): 91-95.
- [34] FEENY P. Seasonal changes in Oak leaf tannins and nutrients as a cause of spring feeding by Wintr Moth Caterpillars. *Ecology*, 1970, 51(4): 565-581.
- [35] 字学娟. 主要热带乔灌木饲用价值评定及其单宁含量动态分析. 海口: 海南大学硕士学位论文, 2010.
ZI X J. Feeding values assessment of the major tropical trees and shrubs and the dynamic of tannins. Master Thesis. Haikou: Hainan University, 2010.
- [36] 姚娜, 易显凤, 丘金花, 庞天德, 赖志强, 韦锦益. 四种南方豆科灌木饲料在华南地区的比较试验. *草业科学*, 2017, 34(4): 772-776.
YAO N, YI X F, QIU J H, PANG T D, LAI Z Q, WEI J Y. Comparison of four fodder species of Leguminous shrubs in southern China. *Pratacultural Science*, 2017, 34(4): 772-776.
- [37] 宋超, 靳晓丽, 田新会, 杜文华. 不同红三叶品种生产性能及异黄酮含量的比较. *草原与草坪*, 2012, 32(5): 47-52.
SONG C, JIN X L, TIAN X H, DU W H. Adaptability and isoflavone content on different red clover varieties in Lanzhou. *Grassland and Turf*, 2012, 32(5): 47-52.
- [38] 李岩, 徐智明, 朱德建, 王霞霞, 李杨. 10 个美国紫花苜蓿品种生长和营养特性比较. *草原与草坪*, 2015, 35(1): 89-92.
LI Y, XU Z M, ZHU D J, WANG X X, LI Y. Comparison of growth and nutrition characteristics of ten alfalfa varieties introduced from America. *Grassland and Turf*, 2015, 35(1): 89-92.
- [39] JACKSON F S, BARRY T N, LASCANO C, PALMER B. The extractable and bound condensed tannin content of leaves from tropical tree, shrub and forage legumes. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2015, 71(1): 103-110.
- [40] 赵一广, 刁其玉, 邓凯东, 刘洁, 姜成钢, 屠焰. 反刍动物甲烷排放的测定及调控技术研究进展. *动物营养学报*, 2011, 23(5): 726-734.
ZHAO Y G, DIAO Q Y, DENG K D, LIU J, JIANG C G, TU Y. Measure ments and modulation of methane emission from ruminants. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(5): 726-734.
- [41] 张本瑜, 师尚礼. 73 份俄罗斯百脉根的营养价值和相对饲喂价值的评价. *草原与草坪*, 2017, 37(1): 67-78.
ZHANG B Y, SHI S L. Evaluation of nutritive value and RFV of 73 *Lotus corniculatus* germplasms of Russia. *Grassland and Turf*, 2017, 37(1): 67-78.
- [42] 李茂, 字学娟, 周汉林, 刘国道, 侯冠斌, 徐铁山. 海南省部分热带灌木饲用价值评定. *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. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(1): 85-94.
- [43] 李茂, 陈艳琴, 字学娟, 周汉林. 山蚂蝗属植物饲用价值评价. *中国草地学报*, 2013, 35(6): 53-57.
LI M, CHEN Y Q, ZI X J, ZHOU H L. Feeding values assessment of species of *Desmodium*. *Chinese Journal of Grassland*, 2013, 35(6): 53-57.

(责任编辑 王芳)