

山地胶园间作5种豆科绿肥的综合评价

陈明惠^{1,2}, 原慧芳^{1,2}, 李金威^{1,2}, 龚燕雄^{1,2}, 阮彦伟^{1,2}, 岩香甩^{1,2*}

(1. 云南省天然橡胶可持续利用研究重点实验室, 云南景洪 666100;

2. 云南省热带作物科学研究所, 云南景洪 666100)

[摘要]为筛选适宜在山地胶园间作的豆科绿肥,对山地胶园中间作的柱花草、翅荚决明、拉巴豆、木豆和三尖叶猪屎豆5种豆科绿肥的生物量、叶绿素荧光参数、营养成分进行比较分析。结果表明:5种豆科绿肥生物量高低依次为三尖叶猪屎豆>木豆>柱花草>拉巴豆>翅荚决明;在营养生长期和生殖生长期的叶绿素荧光参数Fv/Fm和ETR变化情况综合排序为三尖叶猪屎豆>木豆>柱花草>拉巴豆>翅荚决明;结合养分含量和养分积累量来看,三尖叶猪屎豆和木豆能最大化向土壤返还有机物质和养分,同时二者的粗纤维、粗蛋白、适口系数均符合优质饲草标准,有较高的蛋白含量和较好的适口性,综合饲用价值高。试验结果可为山地胶园间作绿肥的选择提供重要参考。

[关键词]橡胶园;绿肥;间作;生物量;营养品质

中图分类号:S794.106 文献标识码:A 文章编号:1672-450X(2026)01-0108-06

Comprehensive Evaluation of Five Leguminous Green Manure Species Intercropped in Mountain Rubber Plantations

CHEN Minghui^{1,2}, YUAN Huifang^{1,2}, LI Jinwei^{1,2}, GONG Yanxiong^{1,2}, RUAN Yanwei^{1,2}, YAN Xiangshuai^{1,2*}

1. Yunnan Key Laboratory of Sustainable Utilization Research on Rubber Tree, Jinghong 666100, China;

2. Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong 666100, China

Abstract: To select suitable legume green manure species for intercropping in mountainous rubber plantations, a comparative analysis was conducted on five legumes—*Stylosanthes guianensis*, *Cassia alata*, *Lablab purpureus*, *Cajanus cajan*, and *Crotalaria micans*—focusing on biomass, chlorophyll fluorescence parameters, and nutritional composition. The results showed that the biomass ranking was as follows: *Crotalaria micans* > *Cajanus cajan* > *Stylosanthes guianensis* > *Lablab purpureus* > *Cassia alata*. Based on chlorophyll fluorescence parameters (Fv/Fm and ETR) during both vegetative and reproductive growth stages, the overall performance ranked as: *Crotalaria micans* > *Cajanus cajan* > *Stylosanthes guianensis* > *Lablab purpureus* > *Cassia alata*. In terms of nutrient content and accumulation, *Crotalaria micans* and *Cajanus cajan* demonstrated the highest capacity for returning organic matter and various nutrients to the soil. Additionally, these two species exhibited high crude fiber and crude protein content, along with favorable palatability coefficients, meeting the standards for high-quality forage. They also showed high protein content and good palatability, indicating comprehensive feed value. The findings provide important references for selecting legume green manure species for intercropping in mountainous rubber plantations.

Key words: rubber plantations; green manure; intercropping; biomass; nutritional quality

豆科绿肥是利用季节性或空间性闲置土地资源种植的具有固氮、活化土壤元素及改良土壤功能的作物,将其翻压回田或覆盖还田能够为土壤

提供养分和有机物^[1-3]。豆科绿肥不同于商品有机肥或者畜禽粪便等外源有机肥料,其在生长过程中能活化并固定环境中的养分,最后作为有机

收稿日期:2025-05-28

基金项目:云南省热带作物科技创新体系建设专项资金项目(RF2025-4)

作者简介:陈明惠(1997—),女,研究实习员,研究方向为热带植物生理生态。E-mail:1324192943@qq.com

*通信作者:岩香甩(1984—),男,副研究员,硕士,研究方向为热带植物生理生态。E-mail:yxsh198411@126.com

肥源提供丰富的有机质和养分^[4-5],在减少肥料用量,调节土壤理化性状,改善土壤结构、微生物群落结构,培肥地力,减少或减轻病虫害,保护生态环境方面起到积极作用,同时也是解决饲草来源和促进畜禽业发展的重要保障^[6-9]。

云南西双版纳植胶区以低海拔山地为主,传统的山地胶园种植模式以橡胶树为单一优势树种,人为高强度管理^[10],存在土地利用率高、水源涵养功能减弱、生物多样性减少、土壤肥力下降等问题^[11-13]。多年的植胶发展使大量的土壤养分通过橡胶树割胶、生长等途径输出,导致胶园土壤养分明显减少。近年来,为了推动天然橡胶产业绿色转型,贯彻“绿水青山就是金山银山”的生态文明发展理念,提升胶园的生态服务和经济产出功能,在长期的山地胶园间种套作实践基础上提出建设“环境友好型生态胶园”^[14-15]。根据此建设措施,将具有较大潜力的豆科绿肥与橡胶林相结合,在橡胶树常规种植区、保护带或复合种植区种植豆科绿肥植物,可以培肥地力,减少水土流失,稳定胶乳产出^[16]。

橡胶树的生长和产量不仅取决于自身品种遗传特性,更与土壤肥力情况和养管理水密切相关^[17-18]。有研究表明,在橡胶林下间种绿肥有利于橡胶树根系发育,提高土壤有机质和氮含

量^[19-20],胶园间种柱花草可显著增加土壤全氮和碱解氮含量^[21-22],间种葛藤可有效调节土壤酸碱性,改善土壤肥力^[23-24]。然而,相关研究多集中于单一绿肥的效应评估,缺乏对不同绿肥系统性比较,特别是与西双版纳橡胶林最宜间种豆科绿肥相关的研究报道甚少。基于此,本试验通过在西双版纳山地胶园试种5种豆科绿肥,对其生长适应性开展观测,测定各豆科绿肥的生物量和营养成分,以期筛选出最适宜在西双版纳山地胶园间种的豆科绿肥,并为建设环境友好型生态胶园提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

试验在位于云南省西双版纳州景洪市的云南省热带作物科学研究所环境友好型生态胶园千亩试验示范基地(100° 46' E, 22° 12' N)进行。该试验地海拔590~760 m,属于热带西南季风气候,一年中有明显的干季(11月至次年4月)和雨季(5—10月),年平均气温21.9℃,年平均降水量1 114 mm,年平均日照2 032 h,太阳辐射总量535.55 kJ·cm⁻²·a⁻¹,年平均相对湿度80%~86%。胶园坡度<10°,土壤为砖红壤,土壤基本理化性质见表1。

表1 试验地土壤基本理化性质

土层/ cm	有机质/ (g·kg ⁻¹)	pH	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全磷/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)	碱解氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)
0—20	18.31	5.05	0.80	0.39	6.37	57.94	15.86	133.62
20—40	15.69	5.24	1.10	0.44	5.81	82.04	14.93	172.41

用HR-450植物照明检测计(台湾海博特)测定试验地幼龄胶园行间(光谱380~780 nm)的光照强度和光合有效辐射(PAR)。每个处理测3个

点,从8:00—18:00进行测定,每个测定地点隔2 h测1次,每次取3个值,连续观测3 d。于2021年5月测定,结果如表2所示。

表2 幼龄胶园行间光照强度和光合有效辐射的日变化特征

测定时间段	光照强度/lx			光合有效辐射 PAR/ (μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)		
	全光照	行间边缘	行间中心	全光照	行间边缘	行间中心
8:00—10:00	3 694.71±128.67	9 819.07±171.04	7 493.50±704.13	173.53±42.17	350.16±82.35	555.55±39.52
10:00—12:00	10 603.91±508.28	18 397.51±1 316.91	16 673.51±561.79	249.72±28.71	437.50±66.77	564.32±40.55
12:00—14:00	9 493.03±460.19	16 363.88±1 547.85	23 829.28±680.05	223.48±34.90	320.63±78.39	532.74±23.96
14:00—16:00	9 507.51±2 440.79	13 304.99±1 881.70	18 745.83±1 880.57	220.34±24.66	318.42±45.41	443.03±44.95
16:00—18:00	2 713.67±90.02	2 713.67±190.02	3 003.01±210.38	71.61±10.79	110.84±6.27	177.52±5.52

1.2 试验设计

在2015年种植的橡胶树保护带行间种豆科绿肥植物,橡胶树株行距 $2.2\text{ m} \times 12.0\text{ m}$,种植密度约25株/667 m^2 。采用随机区组设计,共设5个处理,分别间种柱花草(*Stylosanthes guianensis*)、翅荚决明(*Senna alata*)、拉巴豆(*Lablab purpureus*)、木豆(*Cajanus cajan*)、三尖叶猪屎豆(*Crotalaria juncea* var. *trilobata*)。共选择5个相邻的橡胶林保护带,每个保护带内设置1个处理,每个处理面积为 $6\text{ m} \times 8\text{ m}$,4次重复。于2021年5月,在离橡胶树2 m处采用条播法播种豆科绿肥种子,间距30 cm,覆土约1 cm。出苗1个月后,所有处理均进行人工去除杂草,待绿肥覆盖之后停止除草。生长期,试验区不施用肥料。

于2022年8月绿肥生长旺盛期,在各处理区选取4个 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 的样方(每次重复中随机选取1个样方),其中两个样方(甲样方)内进行生物量(鲜质量、干质量)和株高测定,另外两个样方(乙样方)内进行生长适应性观测和营养成分测定。

1.3 测定指标及方法

生物量测定:于2022年8月,在甲样方内随机选取3个 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的样方(丙样方),将样方内全部豆科绿肥作留茬10 cm刈割,测定鲜质量,取平均值;随后将刈割下的绿肥风干,测定干质量,取平均值;从植株根茎部到主茎顶部测定株高(拉巴豆的株高测定其攀援的自然高度),取平均值。

生长适应性观测:于2022年8月,在各豆科绿肥营养生长期和生殖生长期,采用PAM-2500型便携式荧光仪(WALZ, DEU)对乙样方内标记的健康叶片进行光合电子传递速率(ETR)和光合最大光化学效率(Fv/Fm)测定。每次测定前先将叶片暗适应20 min,饱和脉冲光强为 $196\text{ }\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。测定时,选择标记叶片中部,避开主脉。每处理选3株,每株3片叶,每片叶重复测3次。以上各指标测定时间均为晴天上午8:30—12:00,避免强光直射。

营养成分测定:2022年8月采样,采用重铬酸钾氧化-外加热法测定总碳(C)含量,凯氏定氮法测定全氮(N)含量,钼锑抗比色法测定全磷(P)含量,火焰光度计法测定全钾(K)含量,采用电感

耦合等离子发射光谱法(ICP-AES)分别测定全钙(Ca)、全镁(Mg)、全硫(S)含量,按照GB/T 5009.10—2003《植物类食品中粗纤维的测定》中的方法测定粗纤维含量^[25-26];计算粗蛋白含量、营养元素累积量和适口系数。公式如下:粗蛋白含量=全氮含量 $\times 6.25$;营养元素累积量=营养元素含量 \times 干质量;适口系数=粗蛋白含量/粗纤维含量。

1.4 数据分析

使用Microsoft Excel 2022和SPSS 22.0软件对试验数据进行处理和统计分析,采用Duncan's法进行方差多重比较($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 生物量与株高比较

5种豆科绿肥的单位面积鲜质量和干质量存在差异(图1)。比较5种豆科绿肥的鲜质量和干质量:三尖叶猪屎豆的鲜质量、干质量最高,分别为 2.633 kg/m^2 和 1.517 kg/m^2 ,其次是木豆,二者的鲜质量、干质量均显著高于其他豆科绿肥;拉巴豆和翅荚决明的最低,鲜质量分别为 0.88 kg/m^2 和 0.85 kg/m^2 ,干质量分别为 0.387 kg/m^2 和 0.463 kg/m^2 。株高方面:三尖叶猪屎豆的最高,为2.44 m,其次是木豆,为2.18 m,两者的株高也显著高于其他豆科绿肥(图2)。总体来看,5种豆科绿肥生物量由高到低依次为三尖叶猪屎豆>木豆>柱花草>翅荚决明>拉巴豆。

2.2 叶绿素荧光参数变化

5种豆科绿肥叶片叶绿素荧光参数Fv/Fm、ETR在营养生长期和生殖生长期的变化情况见表3。5种豆科绿肥Fv/Fm在两个时期的测定值稳定在0.66~0.74,变幅较小。营养期以三尖叶猪屎豆的Fv/Fm最高,翅荚决明的Fv/Fm最低,生殖期以三尖叶猪屎豆的Fv/Fm最高,显著高于其他豆科绿肥,其余绿肥的Fv/Fm无显著差异。5种豆科绿肥叶片叶绿素荧光参数ETR在两个时期的测定值变幅为50.47~178.90,变化规律与Fv/Fm稍有不同。三尖叶猪屎豆在两个时期的ETR均最高,且显著高于其他豆科绿肥;营养期以拉巴豆的ETR最低,生殖期以翅荚决明的ETR最低。综合比较各参数,5种豆科绿肥光合性能综合排序为三尖叶猪屎豆>木豆>柱花草>拉巴豆>翅荚决明。

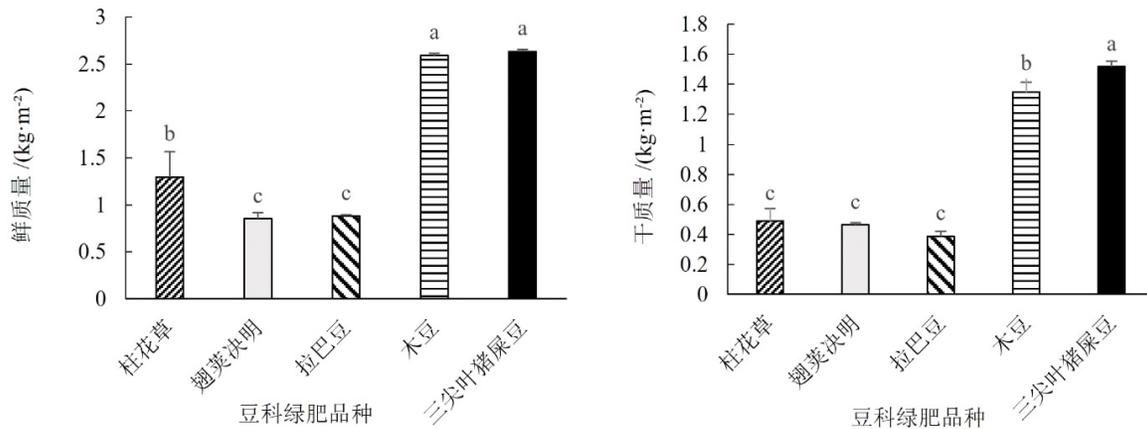


图1 5种豆科绿肥的生物量比较

注: 图中不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

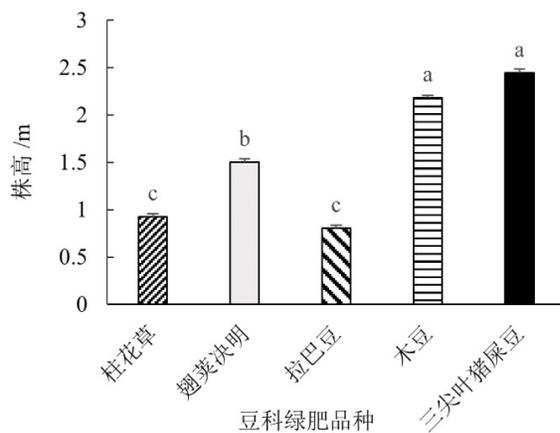


图2 5种豆科绿肥的株高比较

2.3 营养成分对比

5种豆科绿肥的营养元素含量存在明显差异

表3 5种豆科绿肥营养生长期和生殖生长期的Fv/Fm和ETR动态变化值

处理	最大光化学效率 (Fv/Fm)		光合电子传递速率 (ETR)	
	营养生长期	生殖生长期	营养生长期	生殖生长期
木豆	0.70±0.03 ^a	0.69±0.04 ^b	128.50±17.16 ^{bc}	121.27±13.62 ^c
拉巴豆	0.69±0.02 ^{ab}	0.70±0.02 ^b	50.47±29.12 ^d	103.23±13.84 ^d
翅荚决明	0.66±0.03 ^b	0.69±0.03 ^b	81.67±9.23 ^{de}	78.93±11.95 ^e
柱花草	0.71±0.04 ^a	0.70±0.04 ^b	134.83±20.69 ^b	145.73±6.46 ^b
三尖叶猪屎豆	0.72±0.02 ^a	0.74±0.04 ^a	178.90±12.69 ^a	164.17±10.56 ^a

注: 同列中不同的小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

由表5可知,三尖叶猪屎豆和木豆的粗纤维含量最高,分别为24.86%和23.65%,拉巴豆的最低,为15.57%;三尖叶猪屎豆的粗蛋白含量最高,为40.77%,木豆居第二,为35.68%,拉巴豆列第三,为20.56%,翅荚决明最低,仅10.63%;三尖叶

(表4)。三尖叶猪屎豆和木豆的总碳含量高于其他豆科绿肥,分别为48.92%和49.40%。全氮含量以三尖叶猪屎豆和木豆的最高,分别为6.52%和5.71%;全磷含量普遍较低,变幅为0.26%~0.38%,其中拉巴豆含量最高,柱花草最低;拉巴豆和三尖叶猪屎豆的全钾含量最高,分别为3.49%和3.28%,木豆全钾含量最低,为1.99%;柱花草的全钙含量高于其他豆科绿肥,为1.87%;三尖叶猪屎豆和木豆的全钙含量较低,分别为0.74%和0.81%;木豆和柱花草的全镁含量较高,分别为0.37%和0.53%,三尖叶猪屎豆最低,为0.24%;全硫含量普遍较低,变幅为0.17%~0.32%,其中翅荚决明最高,木豆最低。在相同的种植面积下,三尖叶猪屎豆和木豆的营养元素累积量均明显高于其余3种豆科绿肥。

猪屎豆和木豆的适口系数最高,分别为1.64和1.51,柱花草最低,为0.5。结合优质饲草的标准^[27](粗纤维含量>20%,粗蛋白含量>18%,适口系数>1.5),三尖叶猪屎豆和木豆具有较高的蛋白含量和较好的适口性,综合饲用价值高。

表 4 5 种豆科绿肥的营养元素含量及累积量分析

处理	总碳		全氮		全磷		全钾		全钙		全镁		全硫	
	含量/ %	累积量/ (g·m ⁻²)												
柱花草	43.03	210.85	1.84	9.02	0.26	1.27	2.31	11.32	1.87	9.16	0.53	2.60	0.23	1.13
翅荚决明	44.15	204.41	1.70	7.87	0.33	1.53	2.81	13.01	1.52	7.04	0.32	1.48	0.32	1.48
拉巴豆	42.60	164.86	3.29	12.73	0.38	1.47	3.49	13.51	1.30	5.03	0.33	1.28	0.24	0.93
三尖叶猪屎豆	48.92	742.12	6.52	98.91	0.34	5.16	3.28	49.76	0.74	11.23	0.24	3.64	0.18	2.73
木豆	49.40	665.42	5.71	76.91	0.30	4.04	1.99	26.81	0.81	10.91	0.37	4.98	0.17	2.29

表 5 5 种豆科绿肥的营养成分和适口性分析

处理	粗纤维含量/%	粗蛋白含量/%	适口系数
柱花草	23.17	11.50	0.50
翅荚决明	16.42	10.63	0.65
拉巴豆	15.57	20.56	1.06
三尖叶猪屎豆	24.86	40.77	1.64
木豆	23.65	35.68	1.51

3 讨论

豆科绿肥作为一种重要的有机肥源,富含氮、磷、钾及多种微量元素,其生物量是衡量其作为有机肥利用效果的关键指标^[28-29]。本试验中,三尖叶猪屎豆的鲜质量和干质量显著高于除木豆外的其他豆科绿肥。叶绿素荧光参数分析表明,三尖叶猪屎豆的Fv/Fm、ETR在营养期和生殖期均为最高,ETR值显著高于其他豆科绿肥,这表明三尖叶猪屎豆的光合性能相对较好,具有较强的光合物质转化能力,更适宜在橡胶林下生长。木豆、柱花草光合性能也较优,但柱花草生物量过低。

西双版纳雨季漫长,高温高湿的自然环境条件使得杂草萌发集中、生长迅速,传统除草成本高达300~500元/hm²,而间作豆科绿肥可通过地上部分遮荫和地表覆盖,以及根系化感作用来抑制杂草生长^[30]。本试验显示,三尖叶猪屎豆、木豆株高较高(2.44 m和2.18 m),能利用株高优势形成地上部分遮荫,抑制其他杂草的光合作用,结合地表覆盖效应,具有明显的控草抑草效果。

营养成分分析可进一步揭示豆科绿肥的潜在价值。高养分累积量通常表示该绿肥在单位面积上能提供更多营养,适合作为绿肥改良土壤;

养分含量高表示营养丰富,其中氮是绿肥的核心元素,能增加土壤氮素,促进作物生长^[31-32]。本试验中氮累积量以三尖叶猪屎豆的最高,木豆居第二,二者都远高于其他豆科绿肥。三尖叶猪屎豆的全碳、全氮、全钾含量高,但全钙、全镁、全硫含量相对较低,说明其适宜作为主要的有机物料和氮、钾源;木豆全碳、全氮、全镁含量较高,适宜作为主要的有机物料、氮源和镁源。结合养分含量和养分累积量分析结果来看,三尖叶猪屎豆和木豆能够最大化向土壤返还有机物质和养分,可作为主要绿肥用于改良土壤。

粗蛋白可为畜禽的生长提供关键的物质和能量,同时为动物体细胞的构建提供原料;粗纤维能平衡营养,增强微生物活性,实现纤维素充分分解和吸收^[33]。通过对比发现,三尖叶猪屎豆和木豆的营养价值较高,其粗蛋白、粗纤维含量高于优质饲草标准(>20%);同时二者的适口性良好,高于优质饲草适口系数标准(>1.5)。综合营养价值和适口性表现,三尖叶猪屎豆和木豆具有较高的饲用价值。

4 结论

间作豆科绿肥在西双版纳山地胶园建设中具有重要作用,不仅能够提高土壤肥力、降低除草成本、改善胶园生态功能,部分豆科绿肥还能为畜禽提供优质的饲草资源。本试验评价了5种豆科绿肥的生物量、营养品质等指标,得出三尖叶猪屎豆是山地胶园间作豆科绿肥的优选种类,其次是木豆,试验结果可为山地胶园间作豆科绿肥的选择提供重要参考。未来可进一步深入研究绿肥混合间作及对山地胶园土壤微生物群落等

的影响,以期为加快推进环境友好型生态胶园建设提供科学依据。

参考文献:

- [1] 范文兴,吴星怡,岳容旭,等. 绿肥播种方式对高枞茶园绿肥养分供应的影响[J]. 福建农业科技, 2025, 56(4): 60-65.
- [2] 傅松,赖胜芳,廖丽莉,等. 上杭县山地红壤果园冬季绿肥品种筛选[J]. 现代农业科技, 2025(6): 50-53.
- [3] 刘翔. 青海省常见豆科绿肥种质资源评价[D]. 西宁: 青海大学, 2023.
- [4] 卢秉林,包兴国,张久东,等. 甘肃箭筈豌豆种质资源评价[J]. 草业科学, 2015, 32(8): 1296-1302.
- [5] 刘黎,张吉昌,黎钊,等. 汉中市茶园间作不同绿肥的试验研究[J]. 茶业通报, 2023, 45(2): 65-68.
- [6] 王晓军,于凤芝,宿庆瑞,等. 不同绿肥品种综合利用价值的比较[J]. 黑龙江农业学报, 2010(6): 55-57.
- [7] 卢秉林,包兴国,张久东,等. 间作绿肥饲草与减施氮肥对河西绿洲灌区玉米产量和土壤肥力的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2015, 33(2): 170-175.
- [8] 袁秉琛. 荔枝园间作豆科植物适应性筛选评价研究[D]. 海口:海南大学, 2023.
- [9] 王林娜. 枣林间作牧草品种筛选及综合评价[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2017.
- [10] 岩春甩,周增春,董建娅,等. 西双版纳环境友好型生态胶园建设实践与展望[J]. 中国热带农业, 2021(6): 33-37.
- [11] 王杰. 勐腊县民营橡胶产业现状及发展方向[J]. 智慧农业导刊, 2022, 2(13): 110-112.
- [12] 莫业勇. 2020年国内外天然橡胶产业形势和2021年展望[J]. 中国热带农业, 2021(2): 19-23.
- [13] 宋艳红,史正涛,王连晓,等. 云南橡胶树种植的历史、现状、生态问题及其应对措施[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(8): 171-175.
- [14] 李维锐,赵国祥,张洪波. 应用生物多样性理论构建新型胶园复合生态系统的思考[J]. 热带农业科学, 2009, 29(5): 57-61.
- [15] 兰国玉,吴志祥,谢贵水,等. 论环境友好型生态胶园之理论基础[J]. 中国热带农业, 2014(5): 15-17.
- [16] 西双版纳傣族自治州市场监督管理局. 生态胶园建设技术流程: DB 5328/T7—2019[S]. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [17] 赵春梅,王文斌,茶正早. 我国天然橡胶林养分管理研究现状[J]. 热带农业科学, 2021, 41(2): 10-17.
- [18] CHEN CF, LIU WJ, WU JN, et al. Can intercropping with the cash crop help improve the soil physico-chemical properties of rubber plantations [J]. *Geoderma*, 2019, 335: 149-160.
- [19] 蒋菊生,谢贵水,林位夫,等. 胶园间种柱花草的生态适宜性及间作效益评价[J]. 热带作物学报, 1999(1): 13-19.
- [20] SIERRA J, NYGREN P. Transfer of N fixed by a legume tree to the associated grass in a tropical silvopastoral system [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2006, 38(7): 1896-1903.
- [21] 贺建军,姚艳丽,张华林,等. 胶园覆盖对土壤肥力及橡胶树根系活力的影响[J]. 西南农业学报, 2018, 31(7): 1444-1450.
- [22] 周颜. 橡胶园间作不同柱花草后土壤肥力变化研究[D]. 南京:南京农业大学, 2018.
- [23] 徐文娟. 绿肥还田及有机肥替代化学氮肥对橡胶园土壤养分的影响研究[D]. 海口:海南大学, 2022.
- [24] WENXIAN X, QIU Y, YAMIN J, et al. Improving soil pH, nutrient concentrations, and enzyme activities by green manure returning in young and mature rubber plantation on Hainan Island, China [J]. *Plant and Soil*, 2023, 495(1/2): 341-358.
- [25] 胡永亮,陈玉芹,黄家卫,等. 菊苣牧草营养成分分析[J]. 饲料研究, 2020, 43(2): 45-49.
- [26] 张晓燕,高景舜,宋重境,等. 大理地区几种青贮牧草产量及营养成分评价分析[J]. 中国奶牛, 2020(9): 6-10.
- [27] 陈美榕,赵威威,王宗松,等. 藏北地区适宜种植的6种饲草品质分析[J]. 草地学报, 2025, 33(5): 1458-1464.
- [28] 李佼,王吕,蒲国涛,等. 茶园间作绿肥品种筛选及其对茶行温湿度和杂草的影响[J]. 陕西农业科学, 2025, 71(4): 119-124.
- [29] ZHAO C, JIN L, FAN H, et al. Impact of different green manure crops or fallow on yield and quality of a Chinese cabbage [J]. *Plant and Soil*, 2025-07-09. <https://doi.org/10.1007/s11104-025-07241-9>.
- [30] 刘永敏,陈轮轮,石孝均,等. 夏季绿肥有效抑制三峡库区柑橘园恶性杂草生长[J]. 草业科学, 2025, 42(5): 1195-1203.
- [31] 高玲,刘国道. 绿肥对土壤的改良作用研究进展[J]. 北京农业, 2007(36): 29-33.
- [32] 伊丽君,依甫拉音·玉苏甫,提拉古丽·马木提,等. 新疆三种野生牧草各生育期养分分析[J]. 草食家畜, 2024(6): 46-51.
- [33] 邹曼,徐佳祥,唐连英,等. 马关县不同多花黑麦草产量及营养成分分析[J]. 中国奶牛, 2024(10): 63-67.