



主持人:任明迅

云南省西双版纳勐腊县橡胶林下植物多样性分析

杨进银^{1,2,3}, 吴志祥^{1,2,3}, 魏亚情^{2,3}, 杨 川^{2,3}, 刘俊屹^{1,2,3}, 兰国玉^{2,3},
符庆茂^{2,3}, 尹 雄^{1,2,3}, 郭鑫炜^{2,3}

(1. 海南大学 生态与环境学院, 海口 570228; 2. 中国热带农业科学院 橡胶研究所, 海口 570101; 3. 海南儋州热带农业生态系统国家野外科学观测研究站, 海南 儋州 571737)

摘 要: 为探究云南省勐腊县橡胶林下植物物种组成及多样性等基本情况, 对勐腊县内 94 个橡胶林下植物样方 (20 m×20 m) 和 20 个土壤样方进行调查, 分析环境、空间因素对林下植物物种分布和植物多样性影响情况。结果显示: 勐腊县橡胶林下植物共计 87 科、197 属、300 种, 优势物种为银柴 (*Aporosa dioica*)、阔叶箬竹 (*Indocalamus latifolius*)、葛藤 (*Pueraria lobata*) 等; 20 个土壤样地中, 全氮、全磷、全钾等成分均存在中程度变异, 其最高含量分别为 1.0927%、0.1726%、2.6499%。对植物物种及优势物种分布影响因素分析 (RDA) 表明: 地形对优势物种分布显著影响; 土壤全磷和坡度对植物物种分布达到极显著影响 ($P<0.01$)。在植物多样性分析中, 坡度对植物多样性影响显著高于其他影响因子 ($P<0.05$), 辛普森指数 (Simpson, D) 和香农指数 (Shannon-Wiener, H) 在坡度大于 35° 时最高, 并且在回归分析中拟合度较高; 海拔大于 600 m 时, Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数较高, 物种丰富度 (S) 在 600~700 m 整体高于其他海拔梯度; 橡胶树 (*Hevea brasiliensis*) 在 8~14 树龄时, 植物物种丰富度最高。勐腊县橡胶林下植物物种较丰富, 但受人工干扰影响导致植物多样性较差, 如果通过合理的管控会使橡胶林下植物多样性变高, 有助于生态恢复。

关键词: 勐腊县; 橡胶林; 植物多样性; RDA 分析; 多样性指数

中图分类号: S794.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-7054 (2024) 04-0427-10

杨进银, 吴志祥, 魏亚情, 等. 云南省西双版纳勐腊县橡胶林下植物多样性分析 [J]. 热带生物学报, 2024, 15(4): 428-437. doi:10.15886/j.cnki.rdswwb.20230136

橡胶树学名巴西橡胶树 (*Hevea brasiliensis*), 是生产天然橡胶的主要树种, 20 世纪初期被引种到我国。目前, 我国的橡胶主要分布于云南、海南和广东等省的热带地区。其中, 云南省南部适宜的气候和土壤孕育着我国最大的橡胶树种植区。截至 2019 年底, 云南省橡胶种植面积超过 57 万 hm^2 , 而云南省勐腊县的种植面积就占据了 1/4^[1]。橡胶树作为勐腊县的主要农业经济作物, 是胶农收入主要来源, 为国家和地区的经济增长作出了重要贡献。但是, 因橡胶单一种植所带来的一系列生态环境问题日益受到关注, 有学者认为, 砍伐热带

雨林种植橡胶树会导致植物多样性下降、物种丰富度降低等不良后果, 但也有学者认为, 橡胶作为经济作物比其他集约化农田和桉树林等生态系统的物种丰富度更高^[2-4]。因此, 为了更好地保持经济社会发展与生态保护之间的平衡, 有必要优化现有的橡胶林下生态环境。

林下植物是森林生态系统的重要组成部分, 对维护森林多样性、稳定性、生产力、养分循环都发挥非常重要的作用^[5-7]。橡胶林下植物的生长状况一般通过植物多样性来体现。目前, 常用辛普森指数 (Simpson, D) 和香农指数 (Shannon-Wiener, H) 评估

收稿日期: 2023-12-18

修回日期: 2024-01-05

基金项目: 云南省科技基础研究专项重大项目 (202101BC070002); 国家天然橡胶产业技术体系橡胶园生态岗位科学家经费项目 (CARS-33-ZP3)

第一作者: 杨进银 (1997-), 男, 海南大学生态与环境学院 2021 级硕士研究生。E-mail: 1139027001@qq.com

通信作者: 吴志祥 (1970-), 男, 博士, 研究员。研究方向: 热带林业生态。E-mail: zhixiangwu@catas.cn

林下植物多样性。林下植物生长通常受多个因素影响,在郁闭度高的环境下,比较适应耐荫性的植物生长^[8];不同的水热条件下橡胶林植物群落多样性不同,在雨季且低海拔地区物种数和多样性指数较高^[9]。由于调查区域或条件不同,可能影响林下植物多样性的主要因子有所差异,Nottingham等^[10]认为,温度是影响橡胶林下植物群落多样性最主要因子,而Li等^[11]的研究结果表明,影响植物多样性的最主要因子是海拔高度,不同的海拔高度影响着橡胶林的生长和生理代谢,最终作用于生物量积累。黄先寒等^[12]指出,云南橡胶林地海拔在500~700 m时,多样性指数均为最高。不同区域、林龄橡胶林下的植物多样性也有差异,有研究发现,广东地区橡胶林下生物多样性及物种丰富度随林龄的增长呈上升趋势^[13],而越南的橡胶林下植物多样性指数随林龄增长呈先升后降趋势^[14]。土壤是自然环境中最重要部分之一^[15],土壤中氮、磷、钾等营养元素是植物生长必不可少的成分^[16],是影响植物多样性的主要环境因子^[17-18]。在不同的空间尺度上,植物功能性状的影响因子不同,即在某一宏观区域内,影响植物功能性状主要因素是气候,但在某一具体样地内,土壤养分和地形是主要影响因素^[19-20]。关于土壤养分分布及影响因素的研究颇多^[21-23],有研究表明,不同林龄的橡胶林因凋落物、施肥、植物丰富度的差异,导致土壤养分特征也不相同;地形、肥力、土壤母质等因素均会让土壤养分出现一定程度的变异^[24]。

多年来,许多学者对橡胶林下植物多样性在大尺度上进行了研究^[10-14,25-27],但在小尺度上,对中国橡胶代表性县域的橡胶林下植物多样性及土壤养分影响植物生长状况的相关研究较少。因此,笔者研究了云南省勐腊县橡胶林下群落物种组成、分布情况及其影响因素,包括分析不同区域橡胶林下土壤养分组成及对植物分布影响,探索橡胶林下植物多样性的真实情况,旨在为橡胶林下土地空间资源的充分利用、橡胶林下经济作物的间作、物种多样性的恢复、复合生态系统^[28]的构建提供数据支持。

1 研究内容及方法

1.1 研究区概况 云南省勐腊县位于云南省南部(21.133N—22.417N, 101.100E—100.833E),衔接

老挝、缅甸,是我国最好的植胶区之一,单位面积橡胶产量位于全国前列。勐腊县全县面积约 $6.86 \times 10^5 \text{ hm}^2$,橡胶林地面积约 $1.5 \times 10^5 \text{ hm}^2$,占全县面积的1/4,主要分布于勐腊镇、勐仑镇和关累镇。此次调查选取植胶地位于21.331N—21.976N之间,该地区属于亚热带季风气候,年平均气温为22℃,年降水量约1500 mm,年平均湿度约83%。勐腊县的主要地形是山地,占据全县面积近96%,地势呈梯状下降,东北高、西南低;该区域土壤肥沃,多为赤红壤及黄壤,非常适宜橡胶树生长^[1,29]。

1.2 调查方法 样点选取:采用典型性取样法,根据勐腊县的橡胶种植区域、地形等因素,在勐腊县内选取94个有代表性的样地,每个样地大小为 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 。

样方植物调查:将94个样地根据乔木、灌木、草本、藤本不同层间划分不同样方展开调查,其中,乔木层和藤本在 $20 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ 样方内调查、灌木在乔木样方的基础上划分4个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 样方、草本则在灌木样方基础上选取5个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 小样方(四角+中间)调查。记录样方内所有植物名称、株数、高度、盖度等。针对现场无法鉴定植物进行拍照及制作标本方式带回研究室,通过《中国植物志》《云南植被志》等书籍及专家辨认进行植物确认。

样方土壤采集:在94个样方内随机选取20个样方,采集0~20 cm浅层土壤,采用S法在样地内采取9点土壤混匀后采集。

1.3 植物多样性指数计算 对勐腊县橡胶林进行植物多样性分析。将样方按照环境、空间因素划分不同梯度,根据记录样方调查数据,计算重要值(Importance-Value, V_i)、物种丰富度指数(S)、Simpson指数(D)和Shannon-Wiener指数(H)。其公式如下。

1) 重要值

$$V_i = [D_R + C + F] \div 3。$$

2) 物种丰富度(S)

样方中出现的物种总数。

3) Simpson指数(D)

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2,$$

$$P_i^2 = \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}。$$

4) Shannon-Wiener 指数(H_e)

$$H_e = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i,$$
$$P_i = \frac{n_i}{N},$$

式中: D_R 为相对密度, C 为相对盖度, F 为相对频度, H_e 为 Shannon-Wiener 指数, S 为物种数目, N 为所有物种的个体数之和, n_i 为第*i*个物种个体数目。

1.4 土壤检测 对采集土壤进行理化性质检测,检测土壤含水率、全磷、全钾、全氮、氨态氮、硝态氮等检测方法参考文献[30]:采用烘干法测定含水率、采用火焰光度计法测定全钾(K)、采用钼锑抗比色法测定全磷(P)、采用靛酚蓝比色法测定全氮(N)和氨态氮、采用紫外分光光度法测定硝态氮。

1.5 数据处理 采用 Excel 进行植物多样性分析;R 语言进行物种分布影响因素分析;Origin 进行回归分析及绘图。

2 结果与分析

2.1 勐腊县橡胶林下植物物种组成及重要值 勐腊县内 94 个橡胶林地的植物调查结果(表 1)显示,

在所调查的橡胶林地中,共计有 87 科、197 属、300 种植物。其中,被子植物占比 90.6%、蕨类植物占比 9.4%;被子植物中单子叶植物占 22.4%(61 种),双子叶植物占 77.6%(211 种);蕨类植物中蕨纲类植物占 78.6%(22 种)、木贼纲植物占 7.1%(2 种)、石松纲植物占 14.3%(4 种);总科数前 5 分别为大戟科(8.3%)、豆科(7.7)、茜草科(5.7%)、禾本科(5.3%)、桑科(5.0%),总属数前五为榕属(4.3%)、耳草属(2.0%)、野桐属(2.0%)、菝葜属(1.3%)、凤尾蕨属(1.3%)(表 2)。

表 1 勐腊县橡胶林下植物组成
Tab. 1 Plant composition of rubber undergrowth in Mengla County

维管植物种类 Vascular plant species	植物种类 Plants species	科/个 Family (Entries)	属/个 Genus (Entries)	种/个 Species (Entries)
被子植物 Angiosperms	单子叶植物	16	40	61
	双子叶植物	58	139	211
蕨类植物 Fern	石松纲	2	2	4
	木贼纲	1	1	2
	蕨纲	10	15	22

表 2 勐腊县橡胶林下优势科属
Tab. 2 Mengla county rubber forest dominance family

优势科 Dominance familys	种数/个 Species(Entries)	占比/% Proportion	优势属 Dominant genus	种数/个 Species(Entries)	占比/% Proportion
大戟科 Euphorbiaceae	25	8.3	榕属 <i>Ficus</i>	13	4.3
豆科 Leguminosae	23	7.7	耳草属 <i>Hedyotis</i>	6	2.0
茜草科 Rubiaceae	17	5.7	野桐属 <i>Mallotus</i>	6	2.0
禾本科 Gramineae	16	5.3	菝葜属 <i>Smilax</i>	4	1.3
桑科 Moraceae	15	5.0	凤尾蕨属 <i>Pteris</i>	4	1.3

表 3~5 分别列出了勐腊县橡胶林下灌木、草本、藤本重要值前 10 的物种,其中,灌木层银柴(*Aporusa dioica*)重要值最高(8.940 0);草本层重要值前 2 名为阔叶箬竹(*Indocalamus latifolius*)(16.162 0)和粽叶芦(*Thysanolaena maxima*)(10.284 1)、藤本层重要值最高的是葛(*Pueraria lobata*)(22.305 8)。

2.2 勐腊县橡胶林地土壤理化性质分析 从表 6 可知,全磷、全钾、全氮最高分别为 0.17%、2.65%、1.09%,最低分别为 0.04%、0.33%、0.31%。土壤养

分受多种因素影响,在不同空间、尺度上均存在变异性^[31-32],变异系数(C_v)可反映变异程度,一般分为低程度变异、中程度变异和高程度变异,本研究采用雷志栋^[32]的划分标准: C_v 小于 10% 属于低程度变异;10%~100% 属于中程度变异;大于 100% 属于高程度变异。土壤中全磷、全钾、全氮、氨态氮、硝态氮 C_v 值分别为 45.72%、50.24%、42.10%、87.44% 和 86.94%,因此,勐腊县橡胶林地土壤中营养成分多为中等变异。

2.3 不同因素对勐腊县橡胶林下植物多样性影

表3 灌木重要值前5名物种
Tab. 3 Top 5 species of shrubs by value

物种名称 Species name	相对密度/% Relative density	相对盖度/% Relative coverage	相对频度/% Relative frequency	重要值/% Importance value
银柴 <i>Aporosa dioica</i>	7.53	9.62	9.67	8.94
中平树 <i>Macaranga denticulata</i>	4.00	5.44	5.47	4.97
假柿木姜子 <i>Litsea monopetala</i>	2.66	4.07	6.81	4.51
地桃花 <i>Urena lobata</i>	3.07	3.55	4.37	3.66
对叶榕 <i>Ficus hispida</i>	1.39	3.78	3.62	2.93

表4 草本重要值前5名物种
Tab. 4 Top 5 species of herbs in terms of importance

物种名称 Species name	相对密度/% Relative density	相对盖度/% Relative coverage	相对频度/% Relative frequency	重要值/% Importance value
阔叶箬竹 <i>Indocalamus latifolius</i>	17.83	12.78	17.87	16.16
粽叶芦 <i>Thysanolaena maxima</i>	3.45	12.30	15.11	10.28
飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i>	5.02	4.67	11.91	7.20
海芋 <i>Alocasia macrorrhiza</i>	2.02	7.13	7.45	5.53
翠云草 <i>Selaginella uncinata</i>	3.97	3.03	7.66	4.89

表5 藤本重要值前5名物种
Tab. 5 Top 5 species of vine by value

物种名称 Species name	相对密度/% Relative density	相对盖度/% Relative coverage	相对频度/% Relative frequency	重要值/% Importance value
葛 <i>Pueraria lobata</i>	26.65	22.84	17.42	22.30
倒心盾翅藤 <i>Aspidopterys obcordata</i>	11.16	11.71	6.06	9.64
锈毛弓果藤 <i>Toxocarpus fuscus</i>	8.28	4.58	9.47	7.44
山牵牛 <i>Thunbergia grandiflora</i>	5.01	6.61	7.58	6.40
苍白秤钩风 <i>Diploclisia glaucescens</i>	6.35	4.57	7.95	6.29

响 将勐腊县内橡胶林根据坡度不同划分为3个梯度(<25°, 25~35°, >35°)。如图1所示, Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数在3个坡度梯度上差异显著($P<0.05$), Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数均呈正相关关系, 当坡度大于35°时, 多样性指数最高, Simpson 指数显著高于其他2个海拔梯度(<25°, 25~35°), Shannon-Wiener 指数仅在坡度小于25°和大于35°2个梯度上存在显著差异, 物种丰富度各梯度之间无显著差异, 坡度25~35°之间最高, 平均物种数18种, 大于35°最低, 平均物种数约为15种。将林龄划分4个梯度(0~8 a, 9~14 a, 15~25, >25 a), 结果表明(图2), 勐腊县内橡胶林下物种丰富度随林龄增长呈现先低后高再

低的趋势, 在9~14林龄区域物种丰富度整体显现较高, 平均物种数为18种。Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数变化趋势一致, 均呈随林龄增长先降后升, 在15~25林龄多样性指数整体呈现偏低趋势。将样本中不同海拔划分3个梯度(<600, 600~700, >700 m), 从图3可知, 各海拔梯度之间多样性指数无显著差异, 随海拔的升高呈先降后升。Simpson 指数和 Shannon-Wiener 指数均在海拔小于600 m处整体表现较高, 在600~700 m处较低; 物种丰富度在海拔600~700 m时较高。

2.4 勐腊县橡胶林植物多样性与坡度、郁闭度回归分析 对勐腊县橡胶林植物多样性与坡度、郁闭度建立回归模型, 分析拟合程度。植物多样性

表 6 勐腊县橡胶林地表层土壤基本统计信息
Tab. 6 Soil analysis table of rubber forest in Mengla County

变量 variable	最大值 maximum	最小值 minimum	均值 mean	中位数 median	方差 variance	变异系数 coefficient variation
全氮/% Total nitrogen	1.093	0.314	0.514	0.439	0.047	0.421
全磷/% Total phosphorus	0.173	0.040	0.083	0.068	0.001	0.457
全钾/% Total potassium	2.650	0.325	1.106	1.139	0.308	0.502
氨态氮/(g·kg ⁻¹) Ammoniacal nitrogen	1.993	0.176	0.626	0.428	3.001	0.874
硝态氮/(g·kg ⁻¹) Nitrate nitrogen	0.824	0.057	0.265	0.170	0.531	0.869
含水率/% Moisture content	22.083	9.11	14.779	13.018	15.847	0.269

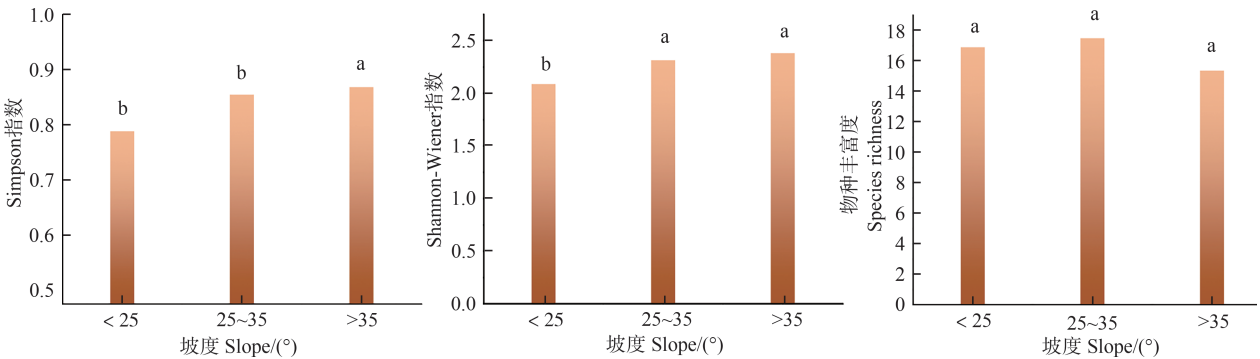


图 1 勐腊县不同坡度橡胶林植物多样性

Fig. 1 Plant diversity of different slope rubber forests in Mengla County

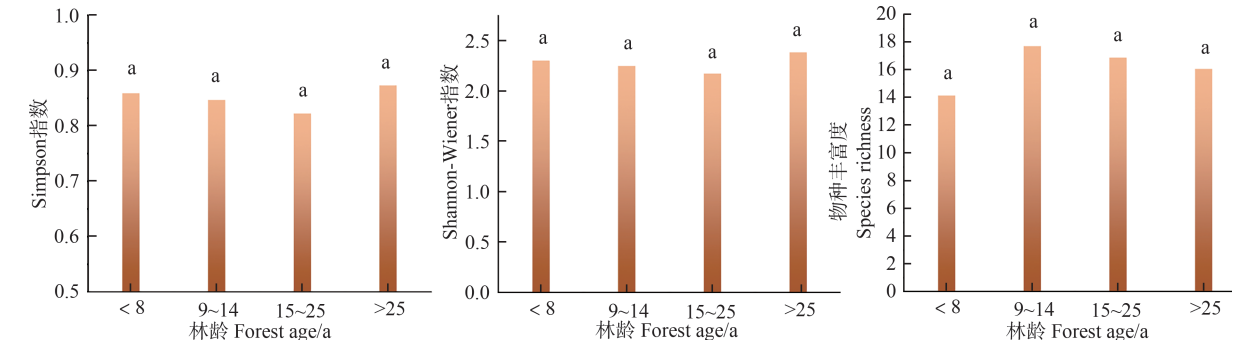


图 2 勐腊县不同林龄橡胶林植物多样性

Fig. 2 Plant diversity of rubber forest at different ages in Mengla County

与坡度的回归分析结果(图 4)表明,Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数拟合度均较高,分别为 $R^2=0.100\ 1$ 和 $R^2=0.081\ 3$,并随着坡度升高呈上升趋势。物种丰富度指数拟合度较低 $R^2=-2.626\times10^{-4}$ 与坡度负相关。植物多样性与郁闭度回归分析显示(图 5),所有多样性指数拟合度均低,Simpson 指数 $R^2=0.003\ 46$ 、Shannon-Wiener 指数 $R^2=0.007\ 49$ 、

丰富度指数 $R^2=-0.006\ 5$;所有指数均随郁闭度的增大而升高。

2.5 勐腊县橡胶林下优势物种分布与影响因素分析 使用 R 语言对勐腊县橡胶林下优势物种分布及其影响因素进行冗长分析(RDA)(图 6)后,通过蒙特卡罗置换检验发现:坡度、海拔、郁闭度、坡向 4 个影响因素对优势物种分布影响均显著($P<$

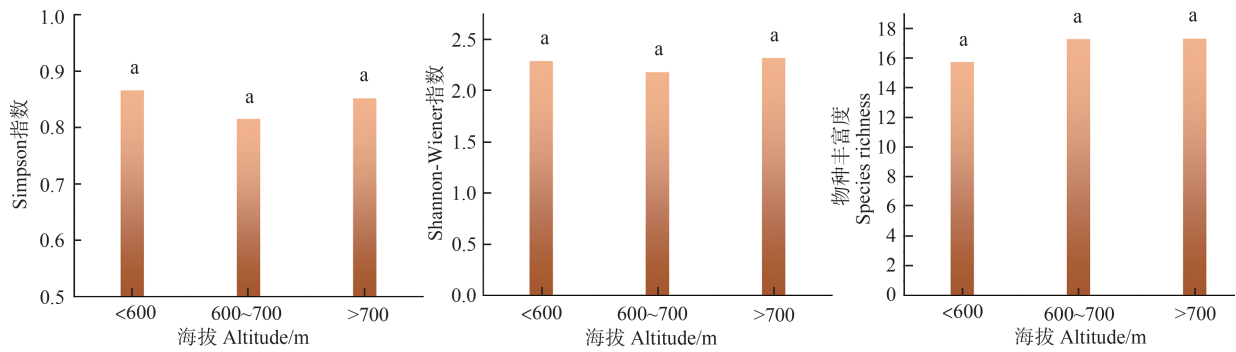


图3 勐腊县不同海拔橡胶林植物多样性

Fig. 3 Plant diversity of rubber forest at different altitudes in Mengla County

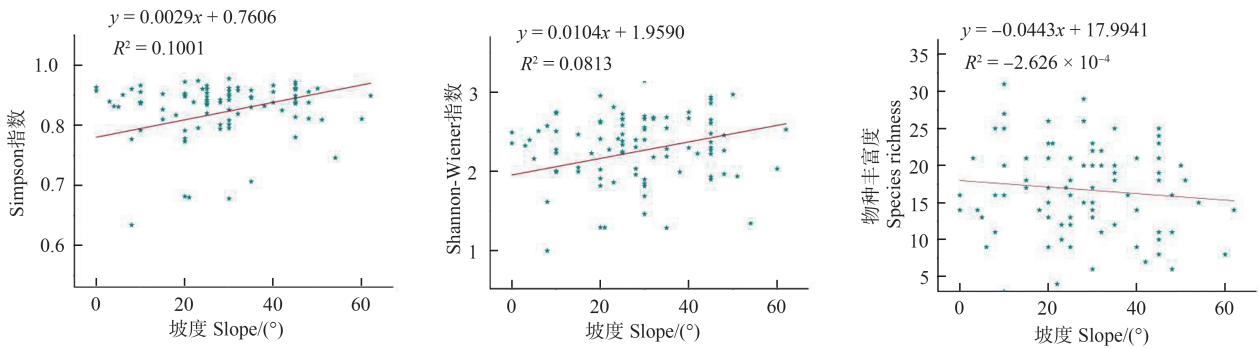


图4 勐腊县橡胶林植物多样性与坡度线性回归分析

Fig. 4 Linear regression analysis of plant diversity and slope in Mengla rubber forest

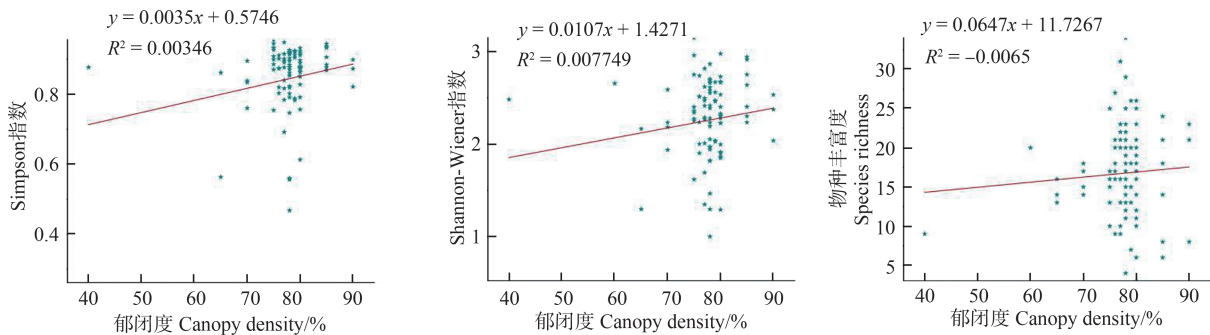


图5 勐腊县橡胶林植物多样性与郁闭度线性回归分析

Fig. 5 Linear regression analysis of plant diversity and canopy density in Mengla rubber forest

0.05), 其中, 海拔、坡度达到极显著水平 ($P < 0.01$)。4个影响因素对优势物种分布解释量共计9.68%, 解释量大小排序为海拔、坡度、郁闭度、坡向; RDA1与RDA2优势物种分布解释量分别为3.33%、3.01%。

2.6 勐腊县橡胶林下物种分布与影响因素分析
从图7中可知, 土壤与环境因素共同对植物物种分布影响, 坡度与土壤全磷对物种分布影响达到极显著水平 ($P < 0.01$); 土壤全氮、氨态氮和含水率对物种分布影响差异性显著 ($P < 0.05$); 其中全磷、氨态氮、全氮、含水率和坡度5个影响因素对植物物种分布解释贡献率高低依次为全磷、坡度、全氮、

含水率、氨态氮, 总贡献率共计6.1%。

3 讨论

调查结果显示, 勐腊县橡胶林下植物共计有87科、197属、300种, 其中灌木占据近一半, 有47科1001属149种; 草本有40科70属100种; 藤本有20科30属51种, 物种数相比黄先寒等调查云南其他州县地区橡胶林下植物较高^[33]。勐腊县橡胶林下的优势物种为银柴 (*Aporosa dioica*)、中平树 (*Macaranga denticulata*)、地桃花 (*Urena lobata*)、阔叶箬竹 (*Indocalamus latifolius*)、粽叶芦 (*Thysanolaena latifolia*)、飞机草 (*Chromolaena odorata*)、葛藤

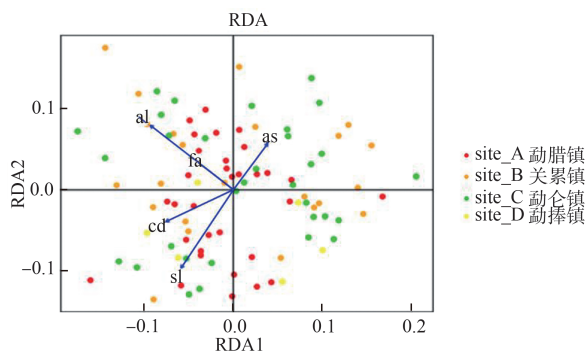


图6 勐腊县橡胶林下优势物种及其影响因素的RDA排序图

图中植物物种数据为94个样方中所有植物物种; fa. 林龄, as. 坡向, sl. 坡度, cd. 郁闭度, al. 海拔, 下同。

Fig. 6 RDA ranking map of dominant species and their influencing factors under rubber forest in Mengla County

The data of plant species in the figure are all plant species in the 94 quadrat; fa. Age of forest, as. Slope direction, sl. Slope, cd. Canopy density, al. Altitude, the same below.

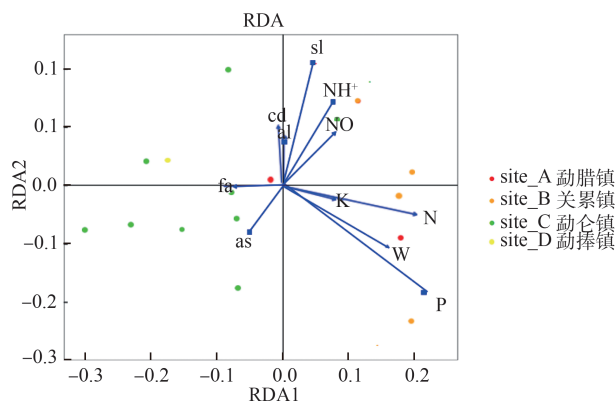


图7 勐腊县土壤样点中橡胶林下物种分布及其影响因素的RDA排序图

图中植物物种数据为20个土壤采集样方所有物种; K. 全钾, P. 全磷, N. 全氮, NO. 硝态氮, NH_4^+ . 铵态氮, W. 含水率。

Fig. 7 RDA ranking map of the distribution of rubber forest understory species and their influencing factors in soil samples in Mengla County

The plant species data in the figure are all species in 20 soil sampling plots; K. Total potassium, P. Total Phosphorus, N. Total nitrogen, NO. Nitrate nitrogen, NH_4^+ . Ammonia nitrogen, W. Moisture content.

(*Pueraria lobata*) 等。由于受降雨量、光照、地形、土壤养分等因素影响,不同地区橡胶林下优势物种有差异,勐腊县相对云南省其他地区橡胶林下优势物种相似性较高,但与海南省橡胶林下优势物种相似性较低^[27,34]。

勐腊县橡胶林下植物多样性指数变化随林龄

增长呈先下降后增高趋势,由于受人工干扰的影响,橡胶林在老龄阶段时植物多样性指数较高。自橡胶树割胶起,随着割胶次数的增多,橡胶林受人工干扰程度越高,导致幼林、中龄林下植物总体偏少,植物多样性指数在15~25林龄时最低,老龄阶段又因为人工干扰降低,植物多样性逐渐恢复。物种丰富度在8~14龄最高,之后随林龄增长先降后升,可能是因为橡胶林随树龄增长致使郁闭度上升、凋落物增加等提高了土壤养分补给,未开割及初开割时的人工干扰较少,物种丰富度还处于较高水平,随着割胶次数逐步增多,人工干扰增加,物种丰富度随之降低。关于勐腊县橡胶林坡度对多样性指数影响方面研究中,*Simpson* 指数和 *Shannon-Wiener* 在不同坡度梯度上同李明美等^[35]在这方面的研究观点相似,多样性指数与坡度呈正相关关系;同时在海拔梯度对植物多样性影响研究中,低海拔区域的植物多样性偏高,海拔在600 m左右的物种丰富度最高;优势物种分布及其影响因素的RDA分析结果显示,坡度与海拔的影响较大。可能是因为海拔、坡度等地形因素不仅影响了区域的水热条件和土壤养分含量^[12],还影响了人类对土地利用方式和干扰程度^[36],从而导致了植物多样性的差异。

本次调查样本的土壤养分均高于唐炎林等^[37]2007年对勐腊县橡胶林地的调查结果,这可能是因为后续十几年里橡胶林地施肥次数逐渐增多所导致。全氮、全磷、氨态氮幼龄阶段含量相对其他阶段较低,与唐炎林等^[37]2007年的结果一致,因为这些元素的含量与橡胶林凋落物以及土壤施肥直接相关^[38]。氮素和磷素是影响植被生长的关键指标^[39],含水量对氮素、磷素有正向影响,因此在土壤养分和环境因子对植物物种分布的RDA分析中,全氮、全磷、坡度、含水量的影响显著,其中全磷、坡度是影响植物分布主要因素。对于土壤含水量对植物多样性影响在已有研究中并无统一结果^[40-41],但在同等环境条件下,土壤含水量与植物丰富度呈正相关关系^[42],这是由于浅层土壤含水量受坡度、植被丰富度、郁闭度等多个因素影响较大。在本次调查土壤中各养分变异均为中程度变异,其中土壤含水率变异系数最小,与他人的研究结果一样^[43],这可能因为含水量相对于林地施肥对营养素的影响较小。

勐腊县的橡胶林地均受到不同程度的人工干

扰,除草、喷药等农业方式对林下植物的生长影响严重,而且人工干扰过多会使土壤营养富集度与植物生长陷入恶性循环,导致碳吸收能力变弱^[44]、植物多样性差,影响橡胶林生态系统;目前,已有研究证明,橡胶林下的植物生长并不会影响橡胶产胶量。因此,为恢复橡胶林生态,可以通过合理地管控橡胶林,减少人为干扰来增加林下植物多样性。

参考文献:

- [1] 韩雪, 贾丽娟. 基于 Landsat 影像的勐腊县橡胶遥感识别与种植面积信息提取 [J]. 现代农业科技, 2022(5): 166–169.
- [2] CHEN B, MA J, YANG C, et al. Diversified land conversion deepens understanding of impacts of rapid rubber plantation expansion on plant diversity in the tropics [J]. Science of the Total Environment, 2023, 874: 162505.
- [3] 吴红萍, 金映虹, 陈喜蓉. 海南发展橡胶林下经济的现状、问题与对策 [J]. 热带林业, 2022, 50(1): 10–14.
- [4] WARREN-THOMAS E, DOLMAN P M, EDWARDS D P. Increasing demand for natural rubber necessitates a robust sustainability initiative to mitigate impacts on tropical biodiversity [J]. Conservation Letters, 2015, 8(4): 230–241.
- [5] 褚建民, 卢琦, 崔向慧, 等. 人工林林下植被多样性研究进展 [J]. 世界林业研究, 2007, 20(3): 9–13.
- [6] HE P, MARTIN K. Effects of rubber cultivation on biodiversity in the Mekong Region [J]. CABI Reviews, 2016: 1–7.
- [7] 兰国玉, 吴志祥, 谢贵水. 海南橡胶林植物多样性特征 [J]. 生物多样性, 2014, 22(5): 658–666.
- [8] TATA H L, VAN NOORDWIJK M, RASNOVI S, et al. Forests as provider of tree diversity in rubber agroforest in lowland Sumatra[C]//XIII World Forestry Congress, Buenos Aires, Argentina, 2009: 18–23.
- [9] 周会平, 岩香甩, 张海东, 等. 西双版纳橡胶林下植被多样性调查研究 [J]. 热带作物学报, 2012, 33(8): 1444–1449.
- [10] HU Y H, SHENG D Y, XIANG Y Z, et al. The environment, not space, dominantly structures the landscape patterns of the richness and composition of the tropical understory vegetation [J]. PLoS One, 2013, 8(11): e81308.
- [11] LI T, XIONG Q, LUO P, et al. Direct and indirect effects of environmental factors, spatial constraints, and functional traits on shaping the plant diversity of montane forests [J]. Ecology and Evolution, 2020, 10(1): 557–568.
- [12] 黄先寒, 兰国玉, 杨川, 等. 云南橡胶林林下植物群落物种多样性 [J]. 生态学杂志, 2017, 36(8): 2138–2148.
- [13] 黄先寒, 兰国玉, 杨川, 等. 广东省橡胶林林下物种组成及灌草物种多样性 [J]. 南方农业学报, 2016, 47(11): 1914–1920.
- [14] 李明美, 兰国玉, 杨川, 等. 缅甸橡胶林下植物物种的多样性分析 [J]. 热带生物学报, 2022, 13(1): 64–72.
- [15] BLUM W E H. Functions of soil for society and the environment [J]. Reviews in Environmental Science and Bio/Technology, 2005, 4(3): 75–79.
- [16] 刘志鹏. 黄土高原地区土壤养分的空间分布及其影响因素 [D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2013.
- [17] HU Y H, SHENG D Y, XIANG Y Z, et al. The environment, not space, dominantly structures the landscape patterns of the richness and composition of the tropical understory vegetation [J]. PLoS One, 2013, 8(11): e81308.
- [18] 杨光辉, 秦树林, 金光泽. 小兴安岭五种林型早春草本植物多样性及其环境解释 [J]. 生态学报, 2023, 43(3): 1234–1246.
- [19] 刘晓娟, 马克平. 植物功能性状研究进展 [J]. 中国科学: 生命科学, 2015, 45(4): 325–339.
- [20] XI N, ADLER P B, CHEN D, et al. Relationships between plant-soil feedbacks and functional traits [J]. Journal of Ecology, 2021, 109(9): 3411–3423.
- [21] WANG Y, ZHANG X, HUANG C. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China [J]. Geoderma, 2009, 150(1/2): 141–149.
- [22] 卢同平, 王艳飞, 王黎明, 等. 西双版纳热带雨林土壤与叶片生态化学计量特征的干湿湿度效应 [J]. 生态学报, 2018, 38(7): 2333–2343.
- [23] SU Y Z, ZHAO H L. Soil properties and plant species in an age sequence of *Caragana microphylla* plantations in the Horqin Sandy Land, North China [J]. Ecological Engineering, 2003, 20(3): 223–235.
- [24] 吴志祥, 谢贵水, 陶忠良, 等. 海南儋州不同林龄橡胶林土壤碳和全氮特征 [J]. 生态环境学报, 2009, 18(4): 1484–1491.
- [25] LAN G, WU Z, CHEN B, et al. Species diversity in a naturally managed rubber plantation in Hainan Island, South China [J]. Tropical Conservation Science, 2017, 10: 194008291771242.
- [26] LAN G, CHEN B, YANG C, et al. Main drivers of plant diversity patterns of rubber plantations in the Greater Mekong Subregion [J]. Biogeosciences, 2022, 19(7): 1995–2005.
- [27] 陈莉, 黄先寒, 兰国玉, 等. 中国橡胶林下植物物种组成与多样性分析 [J]. 西北林学院学报, 2019, 34(2): 76–83.
- [28] 祁栋灵, 杨小波, 谢贵水, 等. 以橡胶为主的农林复合生态系统对调控资源利用和生态服务功能的影响 [J]. 生态学杂志, 2020, 39(11): 3844–3852.
- [29] 刘少军, 周广胜, 房世波. 中国橡胶树种植气候适宜性区划 [J]. 中国农业科学, 2015, 48(12): 2335–2345.
- [30] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2005: 39–103.
- [31] 潘成忠, 上官周平. 土壤空间变异性研究评述 [J]. 生态环境, 2003, 12(3): 371–375.

- [32] 雷志栋, 杨诗秀, 许志荣, 等. 土壤特性空间变异性初步研究 [J]. 水利学报, 1985, 16(9): 10–21.
- [33] 黄先寒, 兰国玉, 杨川, 等. 红河地区橡胶林群落种子植物区系组成成分分析 [J]. 西南农业学报, 2017, 30(2): 432–437.
- [34] 邢慧, 蒋菊生, 麦全法, 等. 海南植胶区不同群落结构林下生物多样性分析 [J]. 热带农业科学, 2012, 32(3): 49–53.
- [35] 李明美, 陈莉, 兰国玉, 等. 越南橡胶林下植物物种组成与多样性研究 [J]. 热带农业科学, 2021, 41(10): 82–91.
- [36] TURNER M G, WEAR D N, FLAMM R O. Land ownership and land-cover change in the southern Appalachian Highlands and the Olympic peninsula [J]. Ecological Applications, 1996, 6(4): 1150–1172.
- [37] 唐炎林, 邓晓保, 李玉武, 等. 西双版纳不同林分土壤机械组成及其肥力比较 [J]. 中南林业科技大学学报, 2007, 27(1): 70–75.
- [38] XU S, LIU L L, SAYER E J. Variability of above-ground litter inputs alters soil physicochemical and biological processes: a meta-analysis of litterfall-manipulation experiments [J]. Biogeosciences, 2013, 10(11): 7423 – 7433.
- [39] GIESLER R, PETERSSON T, HÖGBERG P. Phosphorus limitation in boreal forests: effects of aluminum and iron accumulation in the humus layer [J]. Ecosystems, 2002, 5(3): 300–314.
- [40] 刘江华, 刘国彬, 侯禧禄, 等. 刺槐林地土壤水分与林下植物群落生物量的关系 [J]. 水土保持学报, 2008, 22(3): 43–46.
- [41] YANG X, CAO J, DONG M X, et al. Effects of exotic *Larix kaempferi* on forest soil quality and bacterial diversity [J]. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao = the Journal of Applied Ecology, 2008, 19(10): 2109–2116.
- [42] 林希昊, 陈秋波, 华元刚, 等. 不同树龄橡胶林土壤水分和细根生物量 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 331–336.
- [43] 肖波, 王庆海, 尧水红, 等. 黄土高原东北缘退耕坡地土壤养分和容重空间变异特征研究 [J]. 水土保持学报, 2009, 23(3): 92–96.
- [44] 吴志祥, 陶忠良, 兰国玉, 等. 海南岛橡胶林生态系统碳通量及其影响因子研究 [J]. 热带作物学报, 2014, 35(11): 2099–2108.

Analysis of undergrowth plant diversity of rubber plantations in Mengla County, Xishuangbanna, Yunnan Province

YANG Jinyin^{1,2,3}, WU Zhixiang^{1,2,3}, WEI Yaqing^{2,3}, YANG Chuan^{2,3}, LIU Junyi^{1,2,3},
LAN Guoyu^{2,3}, FU Qingmao^{2,3}, YIN Xiong^{1,2,3}, GUO Xinwei^{2,3}

(1. College of Ecology and Environment, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 2. Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Haikou, Hainan 571101; 3. Hainan Danzhou National Observation and Research Station for Tropical Agro-ecosystem, Danzhou, Hainan 571737, China)

Abstract: In order to explore the species composition and diversity of plants in the rubber plantations of Mengla County, Xishuangbanna, Yunnan, China, 94 plant quadrates (20×20 m) and 20 soil quadrates were arranged for observation in the understory of the rubber plantations in Mengla County to analyze the effects of environmental and spatial factors on the species distribution and plant diversity in the rubber plantations. The results showed that there were 87 families, 197 genera and 300 species of understory plants in the rubber plantations in Mengla County, and that the dominant species were *Aporosa dioica*, *Indocalamus latifolius*, *Pueraria lobata* and so on. The contents of total nitrogen, phosphorus and potassium in the 20 soil quadrates varied moderately, and their highest contents were 1.09%, 0.17% and 2.65%, respectively. The analysis of factors influencing the distribution of plant species and dominant species by using the RDA method showed that topography had significant effect on the distribution of dominant species, and that soil total phosphorus and slope had significant effects on plant species distribution ($P < 0.01$). In the analysis of plant diversity, the effect of slope on plant diversity was

significantly higher than that of other factors ($P < 0.05$). Simpson (D) index and Shannon-Wiener (H) index were the highest at the slope $> 35^\circ$, and the fit degree was higher in regression analysis. The D and H were higher at the altitudes greater than 600 m, and species richness (S) was higher at the elevations between 600 m and 700 m than at the other elevations. The plant species richness was the highest in the rubber plantations at the age of 8 ~ 14 years old. The plant species under the rubber plantations in Mengla County are abundant, but the plant diversity is poor due to artificial disturbance. The plant diversity under the rubber plantations can be increased through reasonable management and control, which is conducive to ecological recovery.

Keywords: Mengla County; rubber plantation; plant diversity; RDA analysis; diversity index

(责任编辑:潘学峰)

(上接第418页)

Survey of birds and mammals in the Maorui area of Hainan Tropical Rainforest National Park

FENG Yueheng¹, CHEN Zhibin², CUI Yilin¹, LIN Liguang², LIU Hui¹

(1. School of Tropical Agriculture and Forestry, Hainan University, Haikou, Hainan 570228; 2. Maorui Branch of Hainan Tropical Rainforest National Park Administration, Baoting, Hainan 572300, China)

Abstract: In order to have a good picture of the wildlife resources in the core area of Maorui Area of Hainan Tropical Rainforest National Park, a survey was made from January 2022 to February 2023, and 95 infrared camera monitoring points were deployed to record birds and mammals in the core area of the Maorui Area of Hainan Tropical Rainforest National Park. The survey recorded 12 species of wild mammals in 9 families and 4 orders, among which the top three species with relative abundance were Asiatic brush-tailed porcupine (*Atherurus macrourus*), wild boar (*Sus scrofa*), and Asian red-cheeked squirrel (*Dremomys rufigenis*). There are 8 species of wild birds in 6 families and 4 orders, and the top three species with relative abundance are silver pheasant (*Lophura nycthemera*), orange-headed thrush (*Geokichla citrina*), and red jungle fowl (*Gallus gallus*). There are two species of wild animals under the first class of the State key protection, Hainan partridge (*Arborophila ardens*) and small Indian civet (*Viverricula indica*). There are 8 species of wild animals under the second class of the State key protection, Bornean red muntjac (*Muntiacus nigripes*), macaque (*Macaca mulatta*), silver pheasant, red jungle fowl, coconut civet (*Paradoxurus hermaphroditus*), leopard cat (*Prionailurus bengalensis*), yellow-breasted magpie (*Cissa hypoleuca*) and Malayan night-heron (*Gorsachius melanolophus*). Among the monitored species, the top three species with relative abundance were analyzed and compared, and it was found that the intensity of species activity varied with season. This survey might provide reference for the protection, management, research and subsequent management policies of the protected areas in the Maorui area of Hainan Tropical Rainforest National Park.

Keywords: infrared camera; mammal; bird; Maorui; seasonal variation

(责任编辑:钟云芳)