

基于防御性状对热带森林树种空间分布格局的解释

Suphanee Glomglieng^{1,2}, 王雪昭^{1,2}, 曹 敏¹, 杨 洁¹

(1. 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:探究影响群落物种分布和共存的主要因素是群落生态学研究的重要目标。热带森林中局域尺度上的物种多样性可能是由于负密度制约机制的影响。密度制约对树种的空间分布格局会产生负影响,为了抵抗这种负效应,树种可能在防御特征上表现出一定的分化。通过对西双版纳热带森林 20 种不同空间分布树种(10 种非聚集型树种和 10 种聚集型树种)的物理防御和化学防御性状进行比较,探讨了防御性状对森林优势树种空间分布格局的解释。结果表明:聚集树种和非聚集树种的防御性状具有显著性的差异;聚集树种比非聚集树种具有更高的化学多样性;但是,与非聚集树种相比,聚集树种并没有观察到更强的物理防御。进一步研究表明,化学防御机制可能是解释西双版纳热带森林树种空间分布格局的一个重要策略。

关键词:负密度制约;防御性状;功能多样性;空间分布;热带森林

中图分类号:S718

文献标识码:A

文章编号:1674-9944(2022)14-0190-06

DOI:10.16663/j.cnki.lskj.2022.14.033

1 引言

森林树种空间分布格局是研究物种共存和群落构建的基础^[1]。在自然森林中,树种大多以聚集、随机和均匀的方式分布^[2,3]。聚集的空间分布方式是自然森林中树种分布的一种常见模式,特别是在热带森林,树种在几米到几百米的范围内均可表现出聚集分布的格局^[4~6],但其原因目前仍不清楚^[2,4,7]。经典的 Janzen—Connell 理论认为,母树或高密度的同种树种附近容易吸引高度多样化的自然天敌。因此,聚集的同种树种更容易受到专一性的自然天敌的攻击,如食草动物和病原菌^[8,9]。由于自然天敌的选择压力,森林中聚集的同种物种难以稳定的共存。然而,从热带、亚热带到温带森林,优势树种通常表现出聚集分布的格局^[4~6]。森林中树木空间分布的这种悖论,吸引了大量的生态学研究,其中,功能性状所介导的生态位分化,特别是树种可能发展出不同程度的防御性的生态策略,以避免自然天敌的压力,是其中重要的解释力量。

由于植物营固着生活,无法主动躲避攻击,因此,植物在进化过程中形成大量的防御措施来抵抗自然天敌。聚集性的物种可能会在这个过程中分配更多资源给防御性的策略,使得它们能够减少负密度依赖效应的影响,抵抗病原菌和食草动物。在这种情况下,树种和它们周围邻体的共有自然天敌会减少,从而增强聚集分布树种的适合度^[10]。植物表型的性

状,如具刺、坚硬的叶片等,从物理的角度产生防御;此外,植物产生大量次生代谢产物,如萜类化合物、酚酸等黄酮类化合物,使植物产生毒性或者降低适口性来抵御动物的植食。总体而言,植物的防御系统从物理和化学两个方面来应对来自环境和自然天敌的不同压力。

基于群落物种共存的原理,预测森林群落中,聚集物种比非聚集的物种可能表现出更强的防御能力。在本研究中,分别采集和测量了热带森林 10 个聚集型和 10 个非聚集型空间分布的树种的物理和化学防御性状,用以探索这些树种在局域尺度的空间分布和共存。

2 材料和方法

2.1 研究地点

本研究在西双版纳热带季节雨林动态监测样地进行。西双版纳热带季节雨林动态监测样地位于西双版纳傣族自治州勐腊县补蚌村南贡山东部斑马山山脚。样地地理位置为 21°36'42"~21°36'58"N, 101°34'26"~101°34'47"E, 样地面积为 20 hm², 东西长 500 m, 南北长 400 m, 整个样地向西偏斜 19°。样地内海拔变幅较大,最低点海拔为 709.27 m,最高点海拔为 869.14 m。由于地处热带季风气候^[11,12],雨季和旱季交替明显。年平均气温为 21℃,年平均降雨量为 1532 mm,每年 5~10 月份为雨季,降雨量占全年降雨量的 84%,11 月份到次年 4 月份为旱季,降雨

收稿日期:2022-04-19

基金项目:云南省杰出青年基金项目(编号:202001AV070016)

作者简介:Suphanee Glomglieng(1991—),女,泰国,硕士研究生,研究方向为森林生态学。

通讯作者:杨 洁(1982—),女,博士,研究方向为森林生物多样性维持机制。

稀少^[11]。样地的土壤类型为砖红壤。样地包含 3 条沟谷,各条沟谷的底部坡度平缓,但两侧山坡的坡度较陡,沟谷底部以及两侧坡面是由望天树(*Parashorea chinensis*)占优势的热带季节雨林。林冠上层高达 50~60 m,中下层乔木主要有毛猴欢喜(*Sloanea tomentosa*)、绒毛番龙眼(*Pometia tomentosa*)、假海桐(*Pittosporopsiskerrii*)、云树(*Garcinia cowa*)、蚁花(*Mezzettiopsiscreeghii*)、染木(*Saprosmaternata*)等。样地的山脊部分则是由约 30~40 年前被破坏之后发展起来的次生林,主要为壳斗科(Fagaceae)植物,如短刺锥(*Castanopsisechidnocarpa*)等^[13]。样地共有 468 种胸径大于 1 cm 的树种,所有胸径大于 1 cm 的树种均做了定位调查及物种鉴定。样地于 2007 年完成第一次调查,2012 年完成第二次调查。本项

研究基于 2007 年的调查数据计算分析。

2.2 目标树种

为了比较本研究中聚集和非聚集分布树种的空间分布格局,首先根据空间点格局分析中的 L-函数,计算出样地中优势树种所有个体的空间分布^[13]。

$$L(r) = \sqrt{p^{-1}K(r)} - r \tag{1}$$

式(1)中, $L(r)$ 是 L 函数, $K(r)$ 是表示 K 函数的估计值, p 是 π , r 是表示两点之间的距离。通过 L-函数,计算样地中所有优势树种的空间分布格局。根据随距离增加,物种的空间分布格局图,共在样地中选择 20 个目标树种(表 1),进行进一步实验分析。为了数据具有可比性,共选择 10 种非聚集型空间分布和 10 种聚集型分布的树种。

表 1 本研究目标树种信息

物种	拉丁名	科	丰富度	空间分布
变叶榕	<i>Ficus variolosa</i>	Moraceae	104	非聚集分布
白穗柯	<i>Lithocarpuscraibianus</i>	Fagaceae	107	非聚集分布
大叶藤黄	<i>Garcinia xanthochymus</i>	Guttiferae	110	非聚集分布
越南巴豆	<i>Croton kongensis</i>	Euphorbiaceae	146	非聚集分布
思茅黄肉楠	<i>Actinodaphnehenryi</i>	Lauraceae	165	非聚集分布
望谟崖摩	<i>Aglaia lawii</i>	Meliaceae	280	非聚集分布
梨果破布叶	<i>Microcoschungii</i>	Tiliaceae	390	聚集分布
黄棉木	<i>Metadinatrichotoma</i>	Rubiaceae	473	聚集分布
网脉肉托果	<i>Semecarpus reticulata</i>	Anacardiaceae	474	非聚集分布
绒毛番龙眼	<i>Pometia pinnata</i>	Sapindaceae	493	非聚集分布
假山萝	<i>Harpulliacupanioides</i>	Sapindaceae	579	非聚集分布
勐腊核果木	<i>Drypeteshoaensis</i>	Euphorbiaceae	587	非聚集分布
云南玉蕊	<i>Barringtonia pendula</i>	Lecythidaceae	624	聚集分布
金钩花	<i>Pseuduariatrimera</i>	Annonaceae	1183	聚集分布
青藤公	<i>Ficus langkokensis</i>	Moraceae	1368	聚集分布
短刺锥	<i>Castanopsisechidnocarpa</i>	Fagaceae	1679	聚集分布
红光树	<i>Knematenuinervia</i>	Myristicaceae	3282	聚集分布
云南澄广花	<i>Oropheayunnanensis</i>	Annonaceae	3802	聚集分布
云树	<i>Garcinia cowa</i>	Guttiferae	4685	聚集分布
望天树	<i>Parashorea chinensis</i>	Dipterocarpaceae	7981	聚集分布

2.3 功能性状的采集和测量

本研究共选择 7 类功能性状来代表树种的防御策略,其中包括 6 类物理防御性状和树种所有次生代谢产物所代表的化学防御性状(表 2)。在树种的生长季节(7~8 月份),对每个目标树种,随机选择 5 个个体,每个个体在树冠外围随机选择 5~10 片叶片,采集和测量相关功能性状。

物理防御性状包括叶片厚度、叶片硬度、叶片毛状物密度、叶片纤维素含量、叶片木质素含量和叶片硅含量。通过游标卡尺测量新鲜叶片的厚度^[14],利用推拉力计通过打孔试验测量叶片的硬度^[15]。通过 ImageJ 图像软件和电子显微镜计算叶片的毛状物密度^[16]。风干叶片样品送入中科院西双版纳热带植物园地球化学实验室测定叶片硅含量、木质素含量和纤

维素含量^[17]。

化学防御性状使用叶片总次生代谢产物表示。通过非靶向代谢组学的方法获得每个目标树种的次生代谢分子网络。通过超高效液相色谱-串联质谱法(UHPLC-MS/MS; Agilent 1260 UPLC/Q-TOF, 美国)提取次级代谢物样品,在全球天然产物(GNPS)分子网络代谢组学网站^[18]对超高效液相色谱-质谱/质谱数据进行分析。基于 Sedio 等人^[19]开发的计算流程,计算 20 个树种的每对树种的化学结构和组成的相似性矩阵。

本研究使用多变量方差分析(MANOVA)评估物理防御和化学防御性状在非聚集树种和聚集树种间的表达差异。所有的数据分析均在 R4.1.1 版本中进行^[20]。

3 结果与分析

3.1 非聚集型和聚集型树种之间物理防御性状的差异

总体而言,聚集型目标树种的物理防御性状大于非聚集型树种,但是这二者之间没有显著性差异(图 1)。对于每一类物理防御性状而言,叶片的毛状物密度在非聚集型树种和聚集型树种中具有显著性的差异(表 2),非聚集型树种的毛状物密度平均值为 59.22 个/cm³,聚集性树种的毛状物密度平均值为 90.30 个/cm³,非聚集性树种的毛状物密度远远小于聚集型树种。其它 5 类物理防御性状,包括叶片厚度、叶片硬度、叶片硅含量、叶片木质素含量和纤维素

含量在非聚集型和聚集型树种之间均无显著性差异(表 2)。

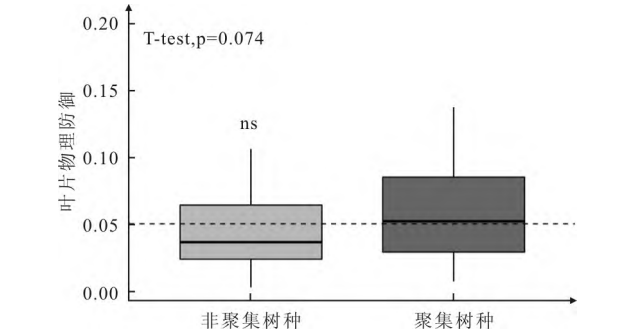


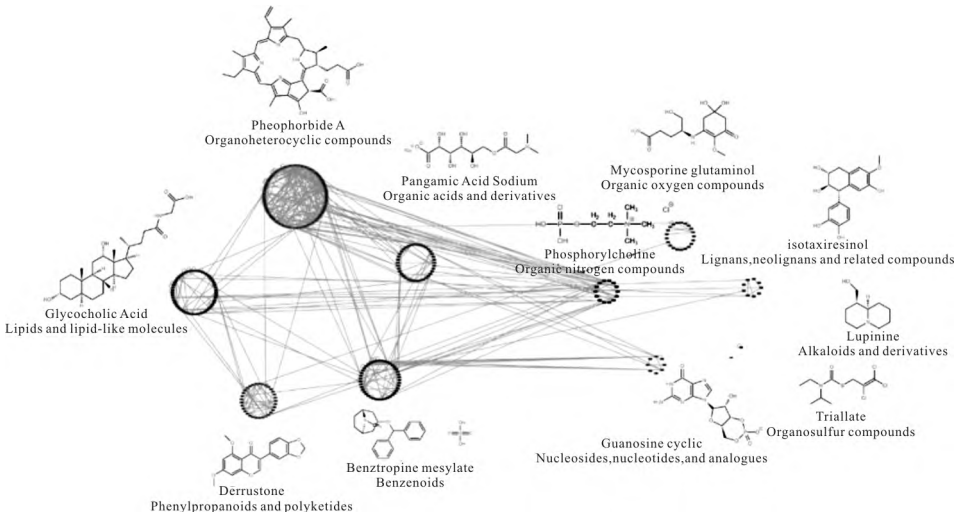
图 1 非聚集型树种和聚集型树种叶片物理防御的差异

表 2 目标树种物理防御性状			
物理性状	聚集物种(性状平均值 ± 方差)	非聚集物种(性状平均值 ± 方差)	F 值
叶片厚度	0.16 ± 0.001	0.15 ± 0.003	10.03
叶片硬度	15.44 ± 0.29	15.77 ± 0.45	14.24
毛状物密度	59.22 ± 11.32	90.30 ± 19.40	3.201**
叶片硅含量	4.31 ± 1.47	4.13 ± 1.69	0.64
木质素含量	21.45 ± 1.40	21.20 ± 1.83	1.104
纤维素含量	33.45 ± 1.54	34.24 ± 1.97	3.897

3.2 非聚集型和聚集型树种之间化学防御性状的差异

树种的化学防御性状通过树种次生代谢产物表示。树种次生代谢分子网络包含了 20 种目标树种的次生代谢产物质谱数据,这些数据经过 GNPS 网站进行分析处理,并与质谱库进行比对鉴定,发现 20 种目标树种中总共含有 5403 种化合物,比对鉴定出 1733

种化合物,占总化合物的 32.07%。所有鉴定出的化合物可以分成八大类,分别为生物碱、黄酮、酚酸、苯丙素类、醌类、类固醇类、单宁类和萜类(图 2)。总体而言,非聚集型目标树种和聚集型目标树种的化学防御性状具有显著性差异(图 3),且聚集型树种的化学防御能力高于非聚集型树种。



分子网络图中节点不同的颜色代表了不同类型的化合物,且节点与节点之间的连接代表两个化合物结构组成较为相似

图 2 目标树种次生代谢产物分子网络

4 讨论

本研究的目的是探讨热带森林中不同空间分布的树种是否具有不同的防御策略。研究的结果支持

非聚集和聚集树种表现出不同防御特征的假设。结果表明,聚集分布的树种通过更强的物理和化学防御策略抵消了负密度制约效应的影响,使得高密度的树种能够在森林中共存。

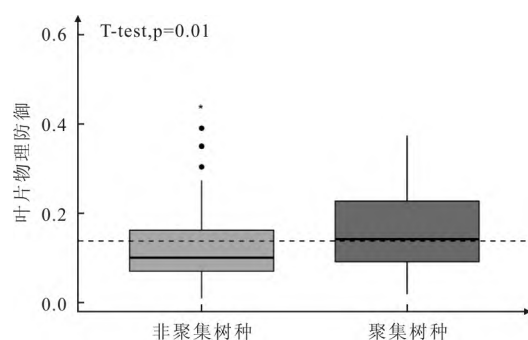


图3 非聚集型树种和聚集型树种叶片化学防御的差异

树种的防御策略取决于每个树种的专一性或者广食性食草动物等自然天敌的压力。研究结果和预期的一致,首先发现不同空间分布的树种具有显著的防御表达上的差异,特别是在化学防御方面(图3)。但是,和预期不一致的是,聚集型树种的物理防御能力虽然高于非聚集型树种,但是这两类空间分布的树种在物理防御性状方面并没有显著性的差异(图1)。这个结果可能是将所有物理防御性状统一考虑所造成的(表2)。

将物理防御性状分开来看,聚集型树种的叶片毛状物密度远远高于非聚集型树种(表2)。毛状物在植物叶片防御的许多方面起着必不可少的作用,毛状物的密度通过机械地干扰食草动物的运动,会影响食草动物对叶片的啃食^[21],甚至有些毛状物的尖端带有一定的分泌物,可以影响食草动物的取食。植物通过发展新叶,增加毛状物密度来抵抗成年叶甲的植食^[22]。聚集型树种的毛状物密度远高于非聚集性树种,说明聚集树种通过这种物理防御的方式,来阻止自然天敌的侵害,同时在此生态位上和非聚集型树种分开。这也是聚集型树种得以共存的原因之一。尽管叶片的厚度、韧性、叶片的硅含量以及木质素和纤维素的含量决定了叶片的物理强度,并在叶片的分解方面起着关键作用,从而保护叶片免受食草动物的摄食,降低采食率^[15, 23, 24]。但是,这几类物种防御性状在非聚集型和聚集型的树种中没有显著性差异,笔者的研究与美洲热带森林的研究结果一致^[10],说明热带森林群落中,聚集型树种和非聚集型树种没有通过这几类方式来逃避自然天敌。

植物作为固着生物,在受到蜗牛、昆虫或脊椎食草动物的攻击时不能逃跑,在受到细菌、真菌或病毒的挑战时也不能依靠免疫系统。但是,在热带森林群落中,非聚集性树种和聚集型树种的化学防御能力具有显著的差异。聚集型树种的化学防御能力显著高于非聚集型树种。说明树种选择通过化学防御的方式来抵御自然天敌。次生代谢产物是植物防御措施中的关键,存在于所有高等植物中^[25, 26]。在次生代谢物中,酚类含量是最常见的防御性化合物之一,它

在对抗食草动物和昆虫方面发挥着重要作用^[27]。同样,单宁酸对进食的昆虫产生强烈的有害作用,并通过与蛋白质结合、降低营养吸收效率,造成植食性昆虫肠病变从而影响其生长和发育^[28]。酚类和单宁对各种食草动物和病原体具有毒性^[21, 27, 28]。因此,聚集型树种生存的一个潜在机制可能是,通过比非聚集型树种更高的化学防御机制,来允许树种通过化学物质的差异对抗密度制约的负面影响^[10]。研究结果同时也支持最佳防御假说,该假说预测,食草动物的选择会导致植物高水平的防御^[29]。笔者观察到,通过聚集的空间分布,树种会遇到更多的自然天敌,因此植物增强其化学防御能力,通过直接或间接影响食草动物的生物学特性进行防御,比如产生有毒的化学物质,如萜类、生物碱或酚类,杀死或延缓食草动物取食^[21, 30]。例如,当植物面对钻心虫害时,水稻植物中的酚酸水平会增加^[31],通过化学防御对实际取食行为变化的调查,发现葡萄糖酸盐是对食草动物的最佳防御^[32]。此外,植物还可能使用多种策略来防御不同类型的食草动物^[33]。这些证据均支持研究结果,聚集的物种特别容易受到食草动物的攻击,因此其具有更强的化学防御能力^[10, 34~36]。

参考文献:

- [1]Haase P. Spatial pattern analysis in ecology based on Ripley's K function; Introduction and methods of edge correction [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1995, 6(4): 575~582.
- [2]Condit R, Ashton P S, Baker P, et al. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species [J]. *Science*, 2000, 288(5470): 1414~1418.
- [3]He F, Legendre P, LaFrankie J V. Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest [J]. *Journal of Vegetation Science*, 1997, 8(1): 105~114.
- [4]Engone Obiang N L, Kenfack D, Picard N, et al. Determinants of spatial patterns of canopy tree species in a tropical evergreen forest in Gabon [J]. *Journal of Vegetation Science*, 2019, 30(5): 929~939.
- [5]Hubbell S P. Tree dispersion, abundance, and diversity in a tropical dry forest [J]. *Science*, 1979, 203(4387): 1299~1309.
- [6]Plotkin J B, Chave J, Ashton P S. Cluster analysis of spatial patterns in Malaysian tree species [J]. *The American Naturalist*, 2002, 160(5): 629~644.
- [7]Sühs R B, Budke J C. Spatial distribution, association patterns and richness of tree species in a seasonal forest from the Serra Geral formation, southern Brazil [J]. *Acta Botanica Brasilica*, 2011, 25(3): 605~617.
- [8]Connell J H. On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees [J]. *Dynamics of Populations*, 1971(12): 298~312.
- [9]Janzen D H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests [J]. *The American Naturalist*, 1970, 104(940): 501~528.
- [10]Cobo Quinche J, Endara M-J, Valencia R, et al. Physical,

- but not chemical, antiherbivore defense expression is related to the clustered spatial distribution of tropical trees in an Amazonian forest [J]. *Ecology and Evolution*, 2019, 9(4): 1750~1763.
- [11] Cao M, Zou X, Warren M, et al. Tropical forests of xishuangbanna, China [J]. *Biotropica*, 2006, 38(3): 306~309.
- [12] Zhu H. Forest vegetation of Xishuangbanna, south China [J]. *Forestry Studies in China*, 2006, 8(2): 1~58.
- [13] Lan G, Zhu H, Cao M, et al. Spatial dispersion patterns of trees in a tropical rainforest in Xishuangbanna, southwest China [J]. *Ecological Research*, 2009(24): 1117~1124.
- [14] Yang J, Ci X, Lu M, et al. Functional traits of tree species with phylogenetic signal co-vary with environmental niches in two large forest dynamics plots [J]. *Journal of Plant Ecology*, 2014, 7(2): 115~125.
- [15] Caldwell E, Read J, Sanson G D. Which leaf mechanical traits correlate with insect herbivory among feeding guilds[J]. *Annals of Botany*, 2016, 117(2): 349~361.
- [16] Cheng Y, Cao L, Wang S, et al. Analyses of plant leaf cell size, density and number, as well as trichome number using cell counter plugin [J]. *Bio-protocol*, 2014, 4(13).
- [17] Jancik F, Homolka P, Cermák B, et al. Determination of indigestible neutral detergent fibre contents of grasses and its prediction from chemical composition [J]. *Czech Journal of Animal Science*, 2008(53): 128~135.
- [18] Wang M, Carver J J, Phelan V V, et al. Sharing and community curation of mass spectrometry data with Global Natural Products Social Molecular Networking [J]. *Nature Biotechnology*, 2016, 34(8): 828~837.
- [19] Sedio B E, Rojas Echeverri J C, Boya P C A, et al. Sources of variation in foliar secondary chemistry in a tropical forest tree community [J]. *Ecology*, 2017, 98(3): 616~623.
- [20] R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing[Z]. Vienna, Austria, 2021
- [21] War A R, Paulraj M G, Ahmad T, et al. Mechanisms of plant defense against insect herbivores [J]. *Plant Signaling & Behavior*, 2012, 7(10): 1306~1320.
- [22] Dalin P, Bjorkman C. Adult beetle grazing induces willow trichome defence against subsequent larval feeding [J]. *Oecologia*, 2003, 134(1): 112~118.
- [23] Cárdenas R E, Valencia R, Kraft N J, et al. Plant traits predict inter- and intraspecific variation in susceptibility to herbivory in a hyperdiverse Neotropical rain forest tree community [J]. *Journal of Ecology*, 2014, 102(4): 939~952.
- [24] Clissold F J, Sanson G D, Read J, et al. Gross vs. net income: how plant toughness affects performance of an insect herbivore [J]. *Ecology*, 2009, 90(12): 3393~3405.
- [25] Fraenkel G S. The raison d'être of secondary plant substances; these odd chemicals arose as a means of protecting plants from insects and now guide insects to food [J]. *Science*, 1959, 129(3361): 1466~1470.
- [26] Wink M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective [J]. *Phytochemistry*, 2003, 64(1): 3~19.
- [27] Arimura G-I, Matsui K, Takabayashi J. Chemical and molecular ecology of herbivore-induced plant volatiles: proximate factors and their ultimate functions [J]. *Plant & Cell Physiology*, 2009, 50(5): 911~923.
- [28] Barbehenn R V, Constabel C P. Tannins in plant-herbivore interactions [J]. *Phytochemistry*, 2011, 72(13): 1551~1565.
- [29] Spiegel L H, Price P W. Plant aging and the distribution of *Rhyacionia neomexicana* (Lepidoptera: Tortricidae) [J]. *Environmental Entomology*, 1996, 25(2): 359~365.
- [30] Hanley M E, Lamont B B, Fairbanks M M, et al. Plant structural traits and their role in anti-herbivore defence [J]. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 2007, 8(4): 157~178.
- [31] Usha Rani P, Jyothsna Y. Biochemical and enzymatic changes in rice plants as a mechanism of defense [J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2010(32): 695~701.
- [32] Hunziker P, Lambert S K, Weber K, et al. Herbivore feeding behavior validates optimal defense theory for specialized metabolites within plants [Z]. *BioRxiv*, 2021.
- [33] Moles A T, Peco B, Wallis I R, et al. Correlations between physical and chemical defences in plants: tradeoffs, syndromes, or just many different ways to skin a herbivorous cat [J]. *New Phytologist*, 2013, 198(1): 252~263.
- [34] Barton K E, Koricheva J. The ontogeny of plant defense and herbivory: characterizing general patterns using meta-analysis [J]. *The American Naturalist*, 2010, 175(4): 481~493.
- [35] Boege K, Dirzo R, Siemens D, et al. Ontogenetic switches from plant resistance to tolerance: minimizing costs with age [J]. *Ecology Letters*, 2007, 10(3): 177~187.
- [36] Dyer L A, Singer M S, Lill J T, et al. Host specificity of Lepidoptera in tropical and temperate forests [J]. *Nature*, 2007(448): 696~699.

Interpretation of the Spatial Distribution Patterns of Tropical Forest Tree Species Based on Defensive Traits

Suphanee Glomglieng^{1,2}, Wang Xuezhao^{1,2}, Cao Min¹, Yang Jie¹

(1. CAS Key Laboratory of Tropical Forest Ecology, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla, Yunnan 666303, China; 2. University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Exploring the main factors affecting the distribution and coexistence of community species is a major goal of community ecology research. Species diversity at the local scale in tropical forests may be due to

(下转第 199 页)

- [20] 王 凯,王道涵,刘 锋,等.露天矿排土场边坡自然恢复规律及其环境解释[J].生态环境学报,2014,23(4):581~585.
- [21] 江沙沙,孙宗玖,杨 静,等.封育年限对伊犁绢蒿荒漠草地群落种间关系及稳定性的影响[J].中国草地学报,2018,40(3):68~75.
- [22] 金立群,李希来,孙华方,等.不同恢复年限对高寒露天煤矿区渣山植被和土壤特性的影响[J].生态学杂志,2019,38(1):127~134.
- [23] 廖晗茹, Tuvshintogtokh I, 郭 通,等.围封对蒙古荒漠草原和高山草原植物群落组成及稳定性的影响[J].北京大学学报(自然科学版),2020,56(3):471~478.

Plant Community Characteristics in Artificial Vegetation Restoration of Quarry Mine Wasteland in Cuo E Mountain

Wang Zhiqiang, Xiang Huahao, Qi Youxiang

(Zhilan Ecological Environment Construction Co., Ltd., Changsha, Hunan 410000, China)

Abstract: In this study, artificial restoration vegetation and natural vegetation of quarry mine wasteland in Cuo E Mountain were taken as the research objects. The species of plant were investigated by sample method, and the species importance value and diversity index were calculated. The composition and species diversity of the herb layer under different artificial vegetation restoration were analyzed. The results showed ① there were 49 *species* of herbaceous plants belonging to 43 *genera* and 14 families in quarry mine wasteland, among them, 24 *species* belonging to 11 *genera* of *Compositae*, 12 *species* belonging to 5 *genera* of *Leguminosae* and 10 *species* belonging to 9 *genera* of *Poaceae*. The adaptability of these 3 families was strong, and there were more single genus and single species. ② The important values (IV) of *Pennisetum glaucum*, *Amorpha fruticosa* L., *Robiniapseudoacacia* L. and *Lespedeza bicolor* Turcz were the highest in the community. ③ The diversity index of the vegetation that has been restored for one year is the highest, but the evenness index is the lowest. With the increase of years, the diversity index decreases, but the evenness index increases. The results provide theoretical basis for the vegetation restoration and the selection of vegetation restoration species in arid areas.

Key words: Cuo E Mountain; quarry mine wasteland; artificial vegetation restoration; vegetation structures; species diversity

(上接第 194 页)

the influence of negative density dependence mechanisms. Negative density dependence affects the spatial distribution patterns of tree species. In order to resist this negative effect, tree species may show some differentiation in defense characteristics. In this study, the defense traits of 20 spatially distributed tree species (10 non-aggregating and 10 aggregating species) in Xishuangbanna tropical forests are compared to explore the interpretation of defense traits on the spatial distribution patterns of dominant tree species in the forest. It was shown that defense traits of aggregated and non-aggregated tree species were significantly different; aggregated species had higher chemical diversity than non-aggregated species; however, stronger physical defense was not observed for aggregated species compared to non-aggregated species. Our study suggests that chemical defense mechanisms may be an important strategy to explain the spatial distribution patterns of tree species in Xishuangbanna tropical forests.

Key words: negative density dependence; defensive traits; functional diversity; spatial distribution patterns; tropical forest