

## ◆ 季节性雨林 ◆

基于功能性状和系统发育的防城季节性雨林群落构建机制研究<sup>\*</sup>龙江慧<sup>1</sup>, 李武峥<sup>2</sup>, 廖南燕<sup>2\*\*</sup>, 覃毅<sup>2</sup>, 潘韦虎<sup>2</sup>, 杨婷<sup>2</sup>, 唐业杰<sup>2</sup>, 梁士楚<sup>1</sup>

(1. 广西师范大学生命科学学院, 广西桂林 541006; 2. 广西壮族自治区防城金花茶国家级自然保护区管理中心, 广西防城港 538021)

**摘要:**为揭示环境筛选和生态位分化在群落构建和演化中的关键作用, 本研究对广西防城金花茶国家级自然保护区内季节性雨林群落的植物种类、株高( $H$ )、胸径( $DBH$ )等功能性状及系统发育进行分析, 结果表明: 大石坪和那山子季节性雨林群落的净亲缘关系指数( $NRI$ )和最近亲缘关系指数( $NTI$ )均小于 0, 表明这两个群落的发育结构呈发散格局; 而妹仔田季节性雨林群落的  $NRI$  和  $NTI$  均大于 0, 表明该群落的发育结构呈聚集格局。3 个季节性雨林群落物种的株高和胸径功能性状指标的系统发育信号  $K$  值均小于 1, 说明物种功能性状受系统进化影响较小, 物种功能性状未表现出较强的系统发育保守性。通过应用零模型分析可知, 尽管不同群落类型的物种在  $DBH$  上差异不显著, 但在  $H$  上部分群落间存在显著差异, 暗示了不同环境和演化压力的作用。功能性状分析表明  $DBH$  和  $H$  呈现趋同进化, 而群落系统发育结构分析揭示了群落内物种的亲缘关系和演化历程, 表明生境过滤和种间竞争对群落构建具有显著影响。通过系统发育多样性、功能性状和系统发育信号等分析, 可为揭示季节性雨林群落构建的生态过程和演化机制提供重要依据。

**关键词:**植物功能性状; 系统发育; 群落构建; 季节性雨林; 零模型

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2024)02-0126-09

DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20240709.004

群落构建机制是群落生态学研究的核心问题之一。目前对群落构建机制的解释主要基于确定性过程的生态位理论和随机性过程的中性理论<sup>[1]</sup>。在群落形成过程中, 功能性状和系统发育成为理解生物群

落生态位和相互关系的关键<sup>[2]</sup>。功能性状是物种在群落中所扮演角色的重要指标, 而系统发育则揭示物种之间的演化关系, 从而为理解群落中物种多样性的演化历程提供重要线索<sup>[3,4]</sup>。系统发育多样性描述

收稿日期: 2024-03-07

修回日期: 2024-04-12

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金项目(32260283), 中央财政林业改革发展资金项目(GXZ2022-C3-002212-YZLZ)和 2023 年度广西大学生创新创业训练计划项目(S202310602177)资助。

【第一作者简介】

龙江慧(1999—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事植物生态研究, E-mail: 2295594600@qq.com。

【\*\*通信作者简介】

廖南燕(1983—), 女, 高级工程师, 主要从事生态保护研究, E-mail: lny605605@sina.com。

【引用本文】

龙江慧, 李武峥, 廖南燕, 等. 基于功能性状和系统发育的防城季节性雨林群落构建机制研究[J]. 广西科学院学报, 2024, 40(2): 126-134.

LONG J H, LI W Z, LIAO N Y, et al. Study on Community Assembly Mechanism of Seasonal Rainforest in Fangcheng Based on Functional Traits and Phylogeny [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2024, 40(2): 126-134.

物种间的亲缘关系和演化历史的多样性,并通过构建系统发育树来表示<sup>[5,6]</sup>。深入研究群落的系统发育多样性不仅能确定群落生态、表型和功能差异,而且能深刻挖掘物种之间的遗传联系和演化过程<sup>[7]</sup>。近年来,通过构建随机零模型<sup>[8]</sup>,结合系统发育和功能性状,检测系统发育结构和功能结构是发散、聚集或随机,使生态位理论和中性理论得以不断完善与相互补充,同时检测功能性状的系统发育信号,以此揭示物种进化与外界环境对功能性状的影响,从而更为全面地探究群落构建的过程<sup>[9-11]</sup>。季节性雨林是具有地带性特征的植被类型<sup>[12]</sup>,主要分布在具有明显干湿季节变化的热带地区。水分的周期性变化对物种的生存和分布产生深远影响<sup>[13]</sup>,湿季丰富的降水使植物迅速生长,而干季水分匮乏会对所有生物构成威胁<sup>[14]</sup>。为适应这种环境,季节性雨林中的生物衍生出了一系列适应性的功能性状,例如叶片的水分调节机制、叶片的生长策略调节,以及光合作用和呼吸作用的季节性调节<sup>[15-17]</sup>。同时,干湿交替的生境还促进了物种间的分化和进化,导致功能性状上的差异<sup>[18]</sup>,这不仅影响了物种间的相互作用,也塑造了群落的结构和物种的分布模式。季节性雨林是广西北热带地区的地带性植被类型,主要分布在山地和丘陵地带<sup>[19]</sup>,具有重要的生态功能,有关研究目前集中在组成结构和类型<sup>[20]</sup>、物种多样性<sup>[19]</sup>、种群分布格局<sup>[21]</sup>、种内种间关联<sup>[22,23]</sup>等方面,尚未见到探讨其形成机制的文献报道。为此,本研究通过整合系统发育与功能性状,揭示不同群落间的生态差异和物种间的亲缘关系,进一步探讨功能性状与系统发育信号之间的关联,揭示群落构建的生态过程,以期为揭示防城季节性雨林群落构建的主要生态过程及其驱动因素提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究样地设在广西防城金花茶国家级自然保护区内。该保护区地处十万大山南麓蓝山支脉,东经 108°01'57"—108°12'42",北纬 21°43'55"—21°49'36"。气候属热带季风气候,全年温和湿润,冬短夏长,年均气温 21.8℃,年均降水量 2 900 mm。保护区现已知的野生维管植物有 197 科 781 属 1 718 种。植被类型包括以狭叶坡垒(*Hopea chinensis*)、肉实树(*Sarcosperma laurinum*)、鹅掌柴(*Heptapleurum heptaphyllum*)、粗齿梭罗树(*Reevesia rotundifolia*)、华

润楠(*Machilus chinensis*)、猴欢喜(*Sloanea sinensis*)等为建群种的季节性雨林,以枫香树(*Liquidambar formosana*)、香港四照花(*Cornus hongkongensis*)等为建群种的次生季雨林,以黄杞(*Engelhardia roxburghiana*)、鹧鸪花(*Heynea trijuga*)、光叶山矾(*Symplocos lancifolia*)、山杜英(*Elaeocarpus sylvestris*)等为建群种的常绿阔叶林,以大节竹(*Indosasa crassiflora*)等为建群种的竹林,以米碎花(*Eurya chinensis*)等为建群种的常绿阔叶灌丛,以臭根子草(*Bothriochloa bladhii*)、知风草(*Eragrostis ferruginea*)等为建群种的丛生草类草地。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 样方设置与功能性状调查

在广西防城金花茶国家级自然保护区大石坪、妹仔田和那山子季节性雨林内,分别设置 1 hm<sup>2</sup> 群落样地,采用相邻网格法将每个样地划分为 25 个 20 m×20 m 的样方。对样方内所有胸径(DBH)≥1 cm 的木本植物进行每木调查,记录其种名、胸径、株高(H)、冠幅(W)、空间坐标(x,y)等信息,其中,植株的 DBH 是在树干距离地面 1.3 m 处测量树木周长,并根据圆的公式将其换算为直径。同时,调查草本层、层间植物的种类组成状况。

#### 1.2.2 系统发育树的构建

利用 V. PhyloMaker 函数建立群落系统发育树,将获取的系统发育树文件导入在线软件 iTOL 网站(<http://www.itol.embl.de/>)获取环形系统发育树。

#### 1.2.3 系统发育指数的计算

采用系统发育多样性指数(PD)、平均成对系统发育距离指数(MPD)、平均最近邻体系系统发育距离指数(MNTD)、净亲缘关系指数(NRI)、最近亲缘关系指数(NTI)来描述群落内物种组成与系统发育结构之间的关系,揭示竞争作用、促进作用、随机过程等生态因素在季节性雨林群落构建中的作用。各指数的计算公式如下<sup>[24-27]</sup>:

$$PD = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D_{ij},$$

式中, $D_{ij}$  为物种  $i$  和物种  $j$  在进化树上的距离, $n$  为物种数量。

$$MPD = \frac{\sum_{i=1}^{n_{k_1}} f_i \overline{\delta_{ik_2}} + \sum_{j=1}^{n_{k_2}} f_j \overline{\delta_{jk_1}}}{2},$$

式中, $n_{k_1}$  为群落  $k_1$  中的物种数; $f_i$  为群落  $k_1$  中物种  $i$  的相对多度; $\overline{\delta_{ik_2}}$  为群落  $k_1$  中物种  $i$  与群落  $k_2$  中所

有物种的平均成对系统发育距离;  $n_{k_2}$  为群落  $k_2$  中的物种数;  $f_j$  为群落  $k_2$  中物种  $j$  的相对多度;  $\overline{\delta_{jk_1}}$  为群落  $k_2$  中物种  $j$  与群落  $k_1$  中所有物种的平均成对系统发育距离。

$$MNTD = \frac{\sum_{i=1}^{n_{k_1}} f_i \min \delta_{ik_2} + \sum_{j=1}^{n_{k_2}} f_j \min \delta_{jk_1}}{2},$$

式中,  $n_{k_1}$  为群落  $k_1$  的物种数;  $f_i$  为物种  $i$  在群落  $k_1$  中的相对多度;  $\min \delta_{ik_2}$  为群落  $k_1$  中物种  $i$  与群落  $k_2$  中亲缘关系最近物种间的系统发育距离;  $n_{k_2}$  为群落  $k_2$  的物种数;  $f_j$  为物种  $j$  在群落  $k_2$  中的相对多度;  $\min \delta_{jk_1}$  为群落  $k_2$  中物种  $j$  与群落  $k_1$  中亲缘关系最近物种间的系统发育距离。

$$NRI = -1 \frac{MPD_{\text{observed}} - MPD_{\text{randomized}}}{sdMPD_{\text{randomized}}},$$

$$NTI = -1 \frac{MNTD_{\text{observed}} - MNTD_{\text{randomized}}}{sdMNTD_{\text{randomized}}},$$

式中,  $MPD_{\text{observed}}$  和  $MNTD_{\text{observed}}$  分别是观察到的  $MPD$ 、 $MNTD$  值,  $MPD_{\text{randomized}}$  和  $MNTD_{\text{randomized}}$  分别是随机模拟的  $MPD$ 、 $MNTD$  值 ( $n = 999$ ),  $sdMPD_{\text{randomized}}$  和  $sdMNTD_{\text{randomized}}$  分别是随机模拟下的  $MPD$ 、 $MNTD$  的标准差。若  $NRI > 0$ ,  $NTI > 0$ , 表明群落系统发育结构聚集, 亲缘关系近的物种倾向于在同一个群落中出现, 群落中生境过滤作用占主导; 若  $NRI < 0$ ,  $NTI < 0$ , 表明群落系统发育结构发散, 群落中的物种亲缘关系较远, 竞争排斥的生态过程占主导作用; 若  $NRI = 0$ ,  $NTI = 0$ , 表明群落的系统发育结构是随机的。

#### 1.2.4 功能性状的系统发育信号检验

结合系统发育树, 采用布朗运动进化模型的  $K$  值来检测系统发育信号的强弱<sup>[28]</sup>, 分析植物功能性状是否受进化历史的影响。若  $K > 1$ , 表示检测到比随机进化模型更强的系统发育信号, 功能性状保守, 功能性状结构和系统发育结构具有一致性; 若  $K = 1$ , 对应布朗运动的随机进化模型, 表示物种随机进化, 功能性状结构和系统发育结构无关; 若  $K < 1$ , 表示检测出比随机进化模型更弱的系统发育信号, 物种趋同性进化, 即群落系统发育和性状格局并不完全一致。功能性状系统发育信号显著性采用与零模型比较的方式来衡量, 即将系统发育树分支末端的物种随机置换 999 次生成零模型, 比较实际值与零模型的  $K$  值, 若实际值大于 95% 的零模型系统发育信号, 则

表示功能性状具有显著的系统发育信号 ( $P < 0.05$ )。

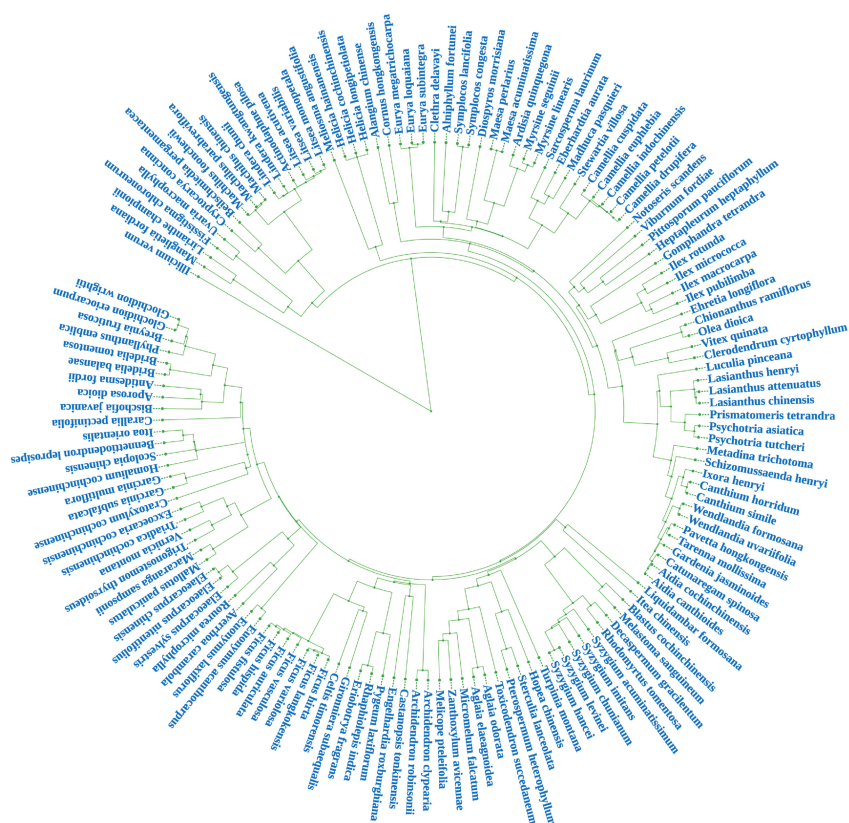
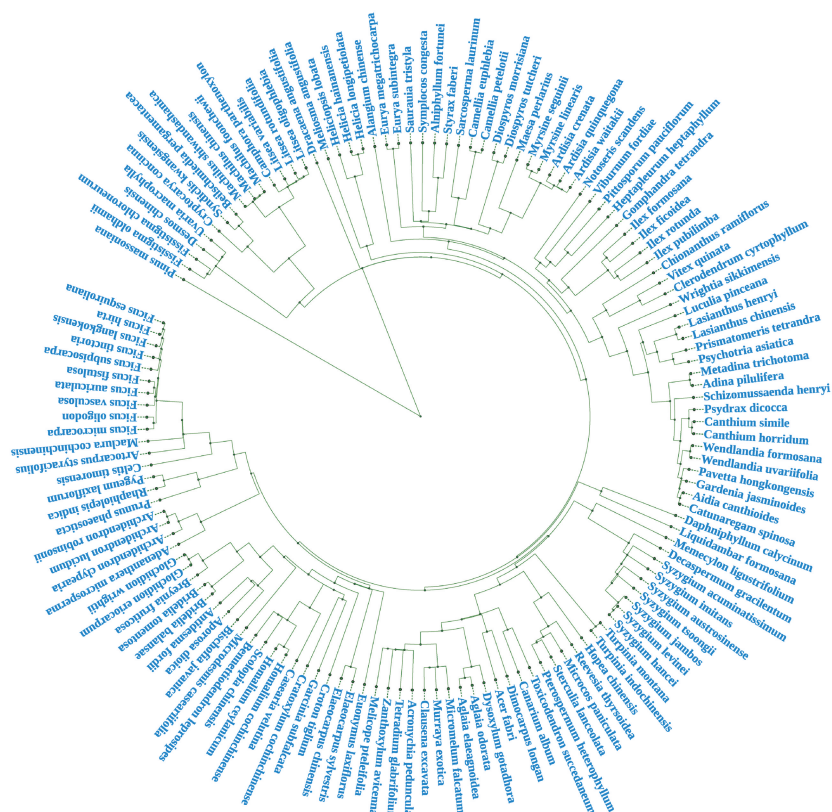
#### 1.2.5 数据处理

采用 Pearson 相关分析检测系统发育多样性指数与物种数的关系。数理统计采用 R4.3.2 软件进行, 其中物种的科、属、种名信息通过 plantlist 程序包核对; 谱系树的构建通过 V. PhyloMake 程序包执行; 系统发育信号检验、系统发育指数通过 picante 程序包执行。

## 2 结果与分析

### 2.1 群落种类组成与系统发育树

群落系统发育树包括节点和进化分支两部分, 其中分支节点表明历史物种的结束以及新物种的开始, 各分支代表不同的亲缘关系, 分支长度代表物种的进化历史<sup>[29]</sup>。群落组成种类的多寡在一定程度上反映群落的生态多样性。通过分析防城季节性雨林群落木本植物构建的系统发育树, 可以更好地理解不同群落之间的生态差异和物种间的亲缘关系。基于被子植物系统发育研究组 (APG) IV 系统, 防城季节性雨林群落木本植物构建的系统发育树如图 1 所示。其中, 用于大石坪群落系统发育检测的物种有 56 科 107 属 140 种, 优势种为鹅掌柴、华润楠、银柴 (*Aporosa dioica*)、九节 (*Psychotria asiatica*)、假苹婆 (*Sterculia lanceolata*)、枫香树、水同木 (*Ficus fistulosa*)、黄椿木姜子 (*Litsea variabilis*)、肉实树、毛冬青 (*Ilex pubescens*)、水锦树 (*Wendlandia uvariifolia*)、桂南蒲桃 (*Syzygium imitans*)、琼桂润楠 (*Machilus foonchewii*)、子楝树 (*Decaspermum gracilentum*)、锯叶竹节树 (*Carallia diplopetala*)、假玉桂 (*Celtis timorensis*)、黄毛五月茶 (*Antidesma fordii*)、南山花 (*Prismatomeris tetrandra*)、黄樟 (*Camphora parthenoxylon*)、中华杜英 (*Elaeocarpus chinensis*)、黄牛木 (*Cratoxylum cochinchinense*)、山杜英、禾串树 (*Bridelia balansae*)、群落类型为鹅掌柴+华润楠群落; 用于妹仔田群落系统发育检测的物种有 48 科 109 属 145 种, 优势种为鹅掌柴、肉实树、九节、银柴、黄椿木姜子、罗伞树 (*Ardisia quinqueгона*)、黄樟、罗浮柿 (*Diospyros morrisiana*)、打铁树 (*Myrsine linearis*)、黄毛五月茶、疏花臀果木 (*Pygeum laxiflorum*)、假苹婆、白肉榕 (*Ficus vasculosa*)、水锦树、大果毛柃 (*Eurya megatrichocarpa*)、短花水金京 (*Wendlandia formosana* subsp. *breviflora*)、华润楠、香楠 (*Aidia canth-*



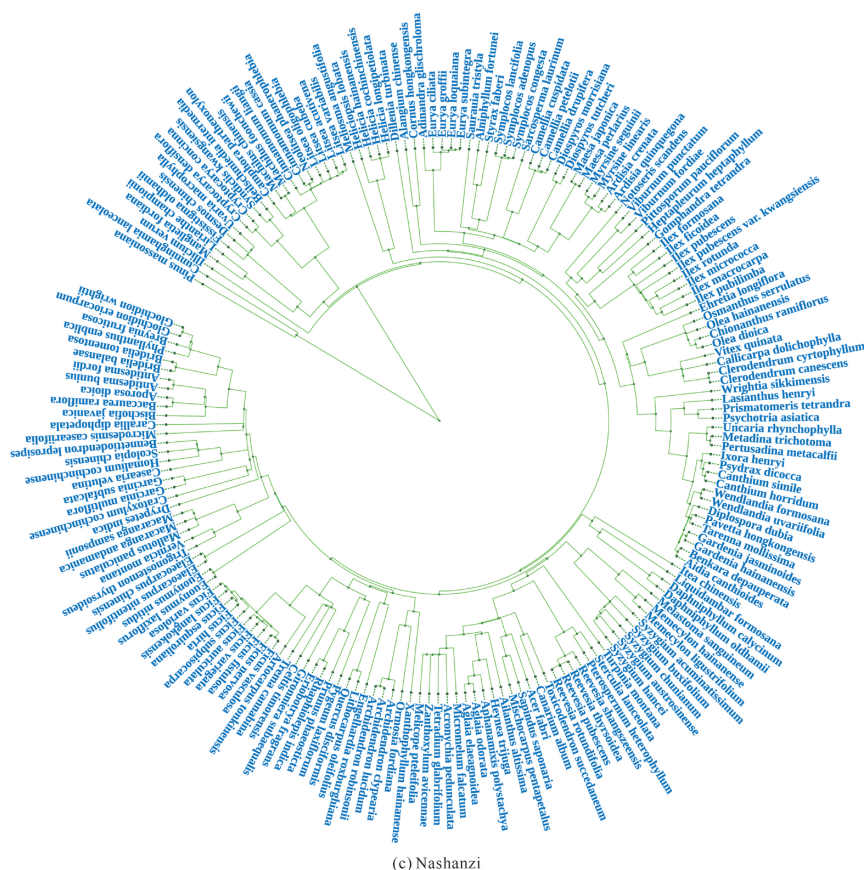


图1 防城季节性雨林群落系统发育树

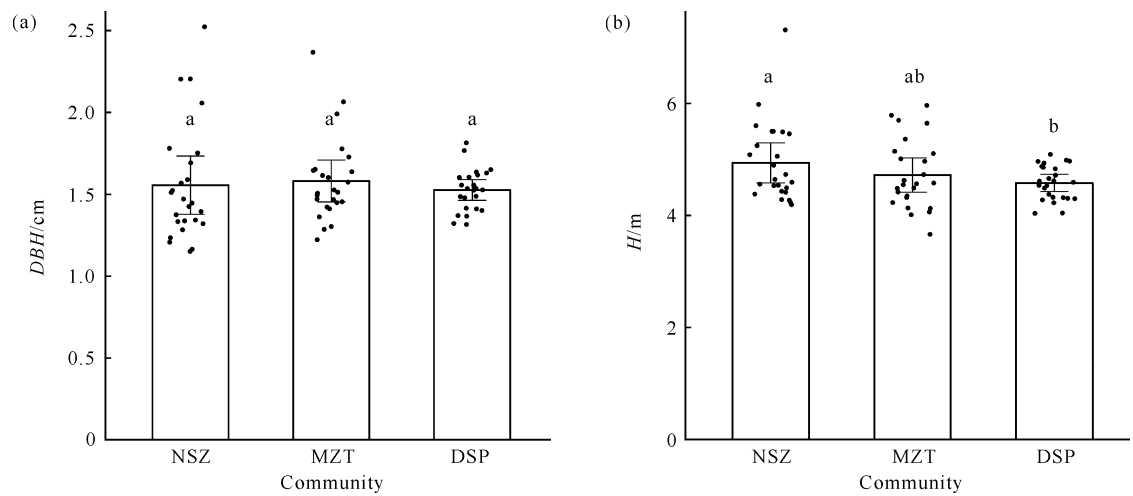
Fig.1 Phylogenetic tree of seasonal rainforest community in Fangcheng

*ioides*)、假杨桐(*Eurya subintegra*)、琼桂润楠、水同木、枫香树、毛折柄茶(*Stewartia villosa*)、毛冬青、白楸(*Mallotus paniculatus*)、鼠刺(*Itea chinensis*)、子楝树、山蒲桃(*Syzygium levinei*)、光叶山矾等,群落类型为鹅掌柴群落;用于那山子群落系统发育检测的物种有62科139属186种,优势种为鹅掌柴、罗浮柿、两广梭罗树(*Reevesia thyrsoidea*)、肉实树、银柴、毛冬青、华润楠、黄樟、变叶榕(*Ficus variolosa*)、小果山龙眼(*Helicia cochinchinensis*)、黄椿木姜子、假苹婆、假杨桐、琼桂润楠、罗伞树、香花枇杷(*Eriobotrya fragrans*)、棋子豆(*Archidendron robinsonii*)、狭叶泡花树(*Meliosma angustifolia*)、打铁树、疏花臀果木、黄毛五月茶、九节、锯叶竹节树、鼠刺、白肉榕、红鳞蒲桃(*Syzygium hancei*)、香楠等,群落类型为鹅掌柴+罗浮柿群落。总的来说,季节性雨林中通常存在丰富的植被层次,不同物种可能占据不同的植被层次,这些物种相互作用,形成了防城季节性雨林中不同地点群落具有不同物种组成和优势种的现象,反映了该地区生态环境的多样性和复杂性。图1中,凡是聚为一类的物种,表明它们由共同的祖先进

化而来;具有同一节点,分支长度相同,则表明它们的进化时间相同。

## 2.2 功能性状与系统发育信号

由图2可知,在防城季节性雨林中,不同群落类型物种 *DBH* 的差异不显著( $P > 0.05$ ),那山子与妹仔田群落、妹仔田与大石坪群落物种 *H* 的差异不显著( $P > 0.05$ ),而那山子与大石坪群落物种 *H* 的差异显著( $P < 0.05$ )。对 *DBH* 和 *H* 两个功能性状的系统发育信号进行检测,结果如表1所示。那山子、妹仔田和大石坪群落的植物功能性状 *DBH* 和 *H* 的 *K* 值均小于1,表明 *DBH* 和 *H* 功能性状表现出的系统发育信号强度弱,且不存在较强的系统发育保守性。零模型检验发现,3个群落功能性状 *H* 均检测到显著的系统发育信号( $P < 0.05$ ),说明物种进化历史对功能性状 *H* 的影响不大,采取趋同进化的方式;而3个群落功能性状 *DBH* 的系统发育信号略有差异,即那山子群落与妹仔田群落的植物功能性状 *DBH* 的系统发育信号显著( $P < 0.05$ ),大石坪群落功能性状 *DBH* 的系统发育信号不显著( $P > 0.05$ ),说明物种的进化历史对功能性状 *DBH* 产生影响,采



NSZ indicates Nashanzi, MZT indicates Meizaitian, DSP indicates Dashiping; different lowercase letters represent significant difference ( $P<0.05$ ).

图 2 植物功能性状在防城季节性雨林不同群落中的变化状况

Fig. 2 Changing condition of plant functional traits in different communities of Fangcheng seasonal rainforest

表 1 防城季节性雨林群落的功能性状系统发育信号和系统发育指数

Table 1 Phylogenetic signals and phylogenetic indexes of functional traits of seasonal rainforest communities in Fangcheng

| 样地名称<br>Sample name | 群落类型<br>Type of community                                           | 胸径 DBH |       | 株高 H  |       | 系统发育指数 Phylogenetic index |       |       |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|
|                     |                                                                     | K      | P     | K     | P     | PD                        | NRI   | NTI   |
| Nashanzi            | Com. <i>Heptapleurum heptaphyllum</i> + <i>Diospyros morrisiana</i> | 0.142  | 0.003 | 0.110 | 0.019 | 0.09                      | -0.77 | -0.39 |
| Meizaitian          | Com. <i>Heptapleurum heptaphyllum</i>                               | 0.187  | 0.014 | 0.143 | 0.006 | 0.07                      | 1.47  | 1.39  |
| Dashiping           | Com. <i>Heptapleurum heptaphyllum</i> + <i>Machilus chinensis</i>   | 0.187  | 0.123 | 0.153 | 0.002 | 0.07                      | -0.44 | -0.66 |

取趋异进化的方式。

2.3 群落系统发育结构

防城季节性雨林群落的系统发育指数如表 1 所示。其中,大石坪和妹仔田群落的 PD 值为 0.07,说明大石坪和妹仔田群落的系统发育多样性较低;而那山子群落的 PD 值为 0.09,系统发育多样性高于大石坪和妹仔田群落。大石坪和那山子群落的 NRI 和 NTI 小于 0,说明其群落系统发育结构呈现发散的格局,即组成这些植物群落的物种之间亲缘关系都相对较远,其群落构建中相似性竞争的作用更强烈;妹仔田群落的 NRI 和 NTI 大于 0,说明其群落发育结构呈现聚集的格局,即亲缘关系较近的物种共存组成植物群落,表明生境过滤的生态作用对群落的构建起主导作用。

3 讨论

植物功能性状是影响植物体适应性的形态和物候特征属性<sup>[30]</sup>,可反映植物的养分权衡方式以及生

存、适应策略<sup>[29]</sup>,通过检验植物群落功能性状的系统发育信号,可更加准确地推断驱动群落构建的主要生态过程<sup>[23]</sup>。不同的生态过程可能会以类似的方式影响植物的形态、生长和适应性特征,从而产生相似的功能性状<sup>[31,32]</sup>。在这样的环境中,植物面临着多种生存挑战,例如对光线、水分和营养的竞争,以及对自身生长空间的限制<sup>[31,33]</sup>。因此,植物必须采取适应性策略来应对这些挑战,这些策略在一定程度上塑造了它们的功能性状。本研究,防城季节性雨林植物的 DBH 和 H 是关于植物体适应性的形态和物候特征属性的重要指标。防城季节性雨林植物功能性状 DBH 在不同群落中无显著差异( $P>0.05$ ),表明群落中植物主干的直径生长可能受到相似的生态选择压力,这种一致性可能源于环境条件的相似性,导致植物主干直径生长的适应方式保持一致;而 H 在不同群落中存在显著差异( $P<0.05$ ),表明在不同群落中 H 可能受到不同的演化压力或生态条件的影响,也可能与种间竞争排斥有关。在季节性雨林中,各物

种之间相互竞争资源,植株迫于空间竞争的压力不能在水平方向上生长,而面对光能的竞争促使植株需要在竖直方向上生长,从而导致  $H$  增加,这种竞争压力和适应性反映了季节性雨林独特的生态环境和植物生长策略,与侯兆疆等<sup>[34]</sup>的研究结果类似。总之,季节性雨林中植物的功能性状格局反映了其独特的生态环境和植物生长策略。尽管不同的生态过程可能会产生相似的功能性状,但通过对这些功能性状的分析,可以更深入地理解驱动季节性雨林群落构建的主要生态过程。

然而,仅凭植物  $DBH$  和  $H$  的数据,很难区分是生境选择导致了某种特定的物种组合,还是物种之间的相互竞争导致了这种分布格局。而通过将系统发育信息和功能性状结合进行分析,能够揭示群落构建背后的生态过程,如生境过滤或者竞争排斥,这些过程在决定群落中物种如何聚集和分布中发挥了关键作用。从系统发育指数来看,防城季节性雨林  $DBH$  和  $H$  两个功能性状的系统发育信号强度相对较弱,不存在较强的系统发育保守性。尽管不同群落间植物  $DBH$  的系统发育信号均未表现出显著的保守性,但其在不同群落中存在一定的差异,这种差异性可能源于不同群落所处的生态环境、物种组成、进化历史等多种因素的影响。因此,在防城季节性雨林群落中,不同植物功能性状可能受到不同进化模式的影响,即使在相同的生态环境下,植物群落在不同功能性状上的进化趋势也可能存在差异,这与曹科等<sup>[35]</sup>、孟婷婷等<sup>[36]</sup>的研究结果类似。本研究发现,大石坪、妹仔田和那山子季节性雨林群落的系统发育多样性都较低,平均最近邻体系统发育距离相差不大,在一定程度上反映了这些植物群落的演化历史和物种组成的一致性,表明这些植物群落在演化历史上经历了相似的进化过程,导致物种之间的系统发育关系相对较为保守,反映了植物群落所处环境的相对稳定性,揭示该群落构建机制主要受生境过滤主导。这与裴男才等<sup>[37]</sup>的研究结果类似。根据表 1,大石坪和那山子群落的  $NRI$  和  $NTI$  均小于 0,这意味着群落的物种组成和结构随着时间的推移逐渐分化,表现出不同的演化路径;而妹仔田群落的  $NRI$  和  $NTI$  大于 0,意味着群落在演化过程中物种组成和结构相对更为稳定,没有出现明显的分化现象,这与车应弟等<sup>[38]</sup>的研究结果类似。这些发现揭示了大石坪、妹仔田和那山子季节性雨林群落之间的系统发育和演化历史的差异。较低的系统发育多样性和相对保守的系统发

育关系表明这些群落在演化过程中受到了相似的演化压力和生境选择。这种相似性可能反映了这些地区的生态环境的相对稳定性,以及对物种组成和结构的生境过滤作用的影响。因此,通过综合考虑环境背景和生态群落的功能性状与系统发育信息,不仅可以揭示群落中物种间的进化关系,而且在一定程度上反映了群落的构建过程和演化过程,从而有助于理解群落内物种的系统发育关系是如何影响群落的生态过程、功能和稳定性的。

## 4 结论

防城季节性雨林不同群落类型在演化历史上经历了相似的进化过程,反映了群落所处环境相对稳定。不同功能性状采取不同的适应进化方式,群落系统发育结构呈现发散状态或聚集状态,生境过滤和竞争排斥作用在季节性雨林群落物种聚集过程中起重要作用,共同影响着季节性雨林群落的构建及其动态发展过程。

## 参考文献

- [1] 吴宇航,杨泽宇,陈世仁,等. 基于 CiteSpace 的森林群落构建机制研究进展[J]. 山地农业生物学报, 2023, 42(2): 29-37.
- [2] 梁建平,程飞,吴敏,等. 广西田阳望天树天然种群高度级、径级分布及树高-胸径相关生长关系[J]. 广西林业科学, 2017, 46(2): 134-139.
- [3] JIANG F, XUN Y H, CAI H Y, et al. Functional traits can improve our understanding of niche- and dispersal-based processes [J]. *Oecologia*, 2018, 186(3): 783-792.
- [4] ACKERLY D. Conservatism and diversification of plant functional traits: evolutionary rates versus phylogenetic signal [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106 (Suppl 2): 19699-19706.
- [5] CORNUAULT J, SANMARTÍN I. A road map for phylogenetic models of species trees [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2022, 173: 107483.
- [6] JIN L, LIU J J, XIAO T W, et al. Plastome-based phylogeny improves community phylogenetics of subtropical forests in China [J]. *Molecular Ecology Resources*, 2022, 22(1): 319-333.
- [7] ALAVEZ V, SANTOS-GALLY R, GUTIÉRREZAGUILAR M, et al. Influence of phylogenetic diversity of plant communities on tri-trophic interactions [J]. *Oecologia*, 2023, 203(1/2): 125-137.
- [8] 牛克昌,储诚进,王志恒. 动态生态位: 构建群落生态学理论的新框架[J]. 中国科学: 生命科学, 2022, 52(3):

- 403-417.
- [9] 税伟, 冯洁, 李慧, 等. 喀斯特退化天坑不同坡向植物群落系统发育与功能性状结构[J]. 生态学报, 2022, 42(19): 8050-8060.
- [10] 侯嫚嫚, 李晓宇, 王均伟, 等. 长白山针阔混交林不同演替阶段群落系统发育和功能性状结构[J]. 生态学报, 2017, 37(22): 7503-7513.
- [11] 周晓果, 卢文科, 叶铎, 等. 基于系统发育和功能性状的森林群落构建机制[J]. 广西科学, 2014, 21(5): 525-533.
- [12] 黄甫昭, 王斌, 丁涛, 等. 弄岗北热带喀斯特季节性雨林群丛数量分类及与环境的关系[J]. 生物多样性, 2014, 22(2): 157-166.
- [13] 朱华. 云南热带季雨林及其与热带雨林植被的比较[J]. 植物生态学报, 2011, 35(4): 463-470.
- [14] 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度效应[J]. 生态学报, 2018, 38(7): 2333-2343.
- [15] 黄甫昭, 李冬兴, 王斌, 等. 喀斯特季节性雨林植物叶片碳同位素组成及水分利用效率[J]. 应用生态学报, 2019, 30(6): 1833-1839.
- [16] 吴陶红, 龙翠玲, 熊玲, 等. 茂兰喀斯特森林不同演替阶段植物叶片功能性状与土壤因子的关系[J]. 广西植物, 2023, 43(3): 463-472.
- [17] 董燕平, 王斌, 韦玉莲, 等. 喀斯特季节性雨林优势树种叶片微形态与光合生理特征及其生态适应性[J]. 广西植物, 2023, 43(3): 415-428.
- [18] 孙善文, 章永江, 曹坤芳. 热带季雨林不同小生境大戟科植物幼树的叶片结构、耐旱性和光合能力之间的相关性[J]. 植物生态学报, 2014, 38(4): 311-324.
- [19] 庞洁. 广西防城金花茶国家级自然保护区植物多样性研究[D]. 南宁: 广西大学, 2008.
- [20] 庞洁, 和太平, 黎向东, 等. 防城金花茶国家级自然保护区植物群落的聚类分析[J]. 广西科学院学报, 2008, 24(3): 189-193.
- [21] 廖南燕, 陈善栋, 李武峥, 等. 防城金花茶国家级自然保护区罗浮柿种群空间分布格局及关联分析[J]. 安徽农业科学, 2024, 52(1): 121-124.
- [22] 吴林芳, 李维标, 李珊珊, 等. 防城金花茶国家级自然保护区次生季雨林木本植物多样性与种间联结性[J]. 湖南林业科技, 2022, 49(1): 7-13.
- [23] 廖南燕, 蔡中伦, 李武峥, 等. 广西防城金花茶国家级自然保护区肉实树种内种间竞争关系研究[J]. 广西林业科学, 2023, 52(3): 344-349.
- [24] 王俊伟, 明升平, 许敏, 等. 高山生态关键带植物群落多样性格局与系统发育结构[J]. 草地学报, 2023, 31(9): 2777-2786.
- [25] 马紫荆, 刘彬, 王军强, 等. 基于系统发育及功能性状的不同坡向荒漠植物群落构建研究: 以博湖县沙化封禁保护区为例[J]. 生态学报, 2023, 43(10): 3946-3957.
- [26] 王诗韵, 吕光辉, 蒋腊梅, 等. 不同尺度下艾比湖典型植物群落功能多样性和系统发育多样性研究[J]. 环境学报, 2020, 29(5): 889-900.
- [27] 何芳远, 苏权, 陈坤铨, 等. 基于功能性状及系统发育的桂林喀斯特石山群落构建[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 2023, 41(3): 171-181.
- [28] BLOMBERG S P, JR GARLAND T, IVES A R. Testing for phylogenetic signal in comparative data: behavioral traits are more labile [J]. *Evolution*, 2003, 57(4): 717-745.
- [29] 苗乐乐, 刘旻霞, 肖音迪, 等. 不同纬度植物群落系统发育与功能性状结构研究[J]. 生态学报, 2024, 44(1): 317-329.
- [30] 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.
- [31] 孙梅, 田昆, 张贇, 等. 植物叶片功能性状及其环境适应研究[J]. 植物科学学报, 2017, 35(6): 940-949.
- [32] 米湘成, 王绪高, 沈国春, 等. 中国森林生物多样性监测网络: 二十年群落构建机制探索的回顾与展望[J]. 生物多样性, 2022, 30(10): 211-233.
- [33] 郝姝珺, 李晓宇, 侯嫚嫚, 等. 长白山温带森林不同演替阶段群落功能性状的空间变化[J]. 植物生态学报, 2019, 43(3): 208-216.
- [34] 侯兆疆, 赵成章, 李钰, 等. 不同坡向高寒退化草地狼毒株高和枝条数的权衡关系[J]. 植物生态学报, 2014, 38(3): 281-288.
- [35] 曹科, 饶米德, 余建平, 等. 古田山木本植物功能性状的系统发育信号及其对群落结构的影响[J]. 生物多样性, 2013, 21(5): 564-571.
- [36] 孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境及生态系统功能[J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 150-165.
- [37] 裴男才, 张金龙, 米湘成, 等. 植物 DNA 条形码促进系统发育群落生态学发展[J]. 生物多样性, 2011, 19(3): 284-294.
- [38] 车应弟, 刘旻霞, 李俐蓉, 等. 基于功能性状及系统发育的亚高寒草甸群落构建[J]. 植物生态学报, 2017, 41(11): 1157-1167.

# Study on Community Assembly Mechanism of Seasonal Rainforest in Fangcheng Based on Functional Traits and Phylogeny

LONG Jianghui<sup>1</sup>, LI Wuzheng<sup>2</sup>, LIAO Nanyan<sup>2\* \* \*</sup>, QIN Yi<sup>2</sup>, PAN Weihu<sup>2</sup>, YANG Ting<sup>2</sup>, TANG Yejie<sup>2</sup>, LIANG Shichu<sup>1</sup>

(1. College of Life Science, Guangxi Normal University, Guilin, Guangxi, 541006, China; 2. Guangxi Fangcheng Golden Camellia National Nature Reserve Management Center, Fangchenggang, Guangxi, 538021, China)

**Abstract:** In order to reveal the key role of environmental screening and niche differentiation in community construction and evolution, the plant species, plant height ( $H$ ), Diameter at Breast Height ( $DBH$ ) and other functional traits and phylogeny of seasonal rainforest communities in Fangcheng Golden Camellia National Nature Reserve, Guangxi were analyzed in this study. The results showed that the Net Relatedness Index ( $NRI$ ) and the Nearest Taxon Index ( $NTI$ ) of Dashiping and Nashansi seasonal rainforest communities were both less than 0, indicating that the phylogenetic structure of these two communities was divergent. While the  $NRI$  and  $NTI$  of the seasonal rainforest community in Meizitian were both greater than 0, indicating that the phylogenetic structure of the community showed an aggregation pattern. The phylogenetic signal  $K$  values of two plant functional traits,  $H$  and  $DBH$ , of the three seasonal rainforest communities were all less than 1, indicating that the species functional traits were less affected by phylogenetic evolution, and the functional traits of the species did not show strong phylogenetic conservation. Through the application of null model analysis, although the species of different community types were not significantly different in  $DBH$ , there were significant differences among some communities in  $H$ , suggesting the role of different environments and evolutionary pressures. Functional trait analysis showed that  $DBH$  and  $H$  showed convergent evolution, while community phylogenetic structure analysis revealed the genetic relationship and evolution process of species in the community, indicating that habitat filtering and interspecific competition had significant effects on the community assembly. The analysis of phylogenetic diversity, functional traits and phylogenetic signals can provide an important basis for revealing the ecological process and evolution mechanism of seasonal rainforest community construction.

**Key words:** plant functional traits; phylogeny; community assembly; seasonal rainforest; null model

责任编辑: 陆媛峰



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxxkx.ijournal.cn/gxxkxyxb/ch>