

# 海南鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植物群落结构与相似性分析

吴红萍<sup>1</sup>, 刘季<sup>2</sup>, 刘磊<sup>3</sup>, 李蕾<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>海南师范大学生命科学学院, 热带岛屿生态学教育部重点实验室, 海南 海口

<sup>2</sup>海南热带雨林国家公园管理局鹦哥岭分局, 海南 白沙

<sup>3</sup>海南热带雨林国家公园管理局五指山分局, 海南 五指山

收稿日期: 2023年10月26日; 录用日期: 2023年12月29日; 发布日期: 2024年1月8日

## 摘要

热带山地雨林是热带雨林中重要的森林植被类型之一, 是维持区域生态安全和保护生物多样性的保障。为研究海拔和坡向对热带山地雨林群落结构与相似性的影响, 选取鹦哥岭自然保护区南、北坡向不同海拔的热带山地雨林内设置的8个50 × 50 m的固定样方, 对比研究不同海拔和坡向乔木植物群落的优势种组成、物种多样性及相似性。结果表明: 样地植物群落物种丰富, 共61科146属246种, 壳斗科、山茶科、大戟科和樟科为主要优势科, 各样地优势科、属、种的海拔梯度变化具有异质性。样地植被物种丰富度和物种多样性随海拔的升高呈现先升高后降低的变化规律, 分别符合“中峰分布”格局和“中间高度膨胀”学说。不同坡向对应海拔的植物群落多样性存在差异, 主要受水热、地形等复杂多变的环境因子影响。不同海拔样地间的植物群落结构差异大, 群落相似性为极不相似水平。海拔梯度影响植物群落科、属的分布型; 科的泛热带分布占绝对优势, 属的泛热带、热带亚洲和北温带分布比例较高。因此, 对热带山地雨林开展长期的森林动态监测, 将有助于深入了解该类型雨林的群落构建规律以及物种多样性维持机制。

## 关键词

海南鹦哥岭, 热带山地雨林, 海拔与坡向, 群落相似性, 物种多样性

## Structure and Similarity Analysis of Plant Communities at Different Altitudes in the Tropical Mountain Rainforest of Yinggeling, Hainan Province

Hongping Wu<sup>1</sup>, Ji Liu<sup>2</sup>, Lei Liu<sup>3</sup>, Lei Li<sup>1\*</sup>

\*通讯作者。

文章引用: 吴红萍, 刘季, 刘磊, 李蕾. 海南鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植物群落结构与相似性分析[J]. 植物学研究, 2024, 13(1): 1-14. DOI: 10.12677/br.2024.131001

<sup>1</sup>Key Laboratory of Ministry of Education for Ecology of Tropical Islands, College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou Hainan

<sup>2</sup>Yinggeling Branch of Hainan Tropical Rainforest National Park Administration Bureau, Baisha Hainan

<sup>3</sup>Wuzhishan Branch of Hainan Tropical Rainforest National Park Administration Bureau, Wuzhishan Hainan

Received: Oct. 26<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 29<sup>th</sup>, 2023; published: Jan. 8<sup>th</sup>, 2024

## Abstract

Tropical mountain rain forest is one of the most important forest vegetation types in tropical rain regions. It can provide an important foundation to maintain regional ecological security and conserve biodiversity. In order to study the effects of altitude and aspect on community structure and similarity of tropical mountain rain forests, eight fixed sample squares of 50 × 50 m were selected from the south and north slopes of Yinggeling Nature Reserve, which were set up in tropical mountain rain forest at different altitudes. The dominant species composition, species diversity and similarity of tree plant communities on northern and southern slopes were compared. The results showed that the plant community in the plot was rich in species, with a total of 246 species, 146 genera and 61 families. *Fagaceae*, *Camellia*, *Euphorbiaceae* and *Lauraceae* were the main dominant families. The elevation gradients of dominant families, genera and species in each plot were heterogeneous. The vegetation species richness and species diversity of the sample plot increased first and then decreased with the increase of altitude, which conformed to the pattern of “Middle Peak Distribution” and the theory of “Middle Height Expansion”, respectively. The diversity of plant communities on different slopes at the same altitude was mainly influenced by complex and changeable environmental factors such as water, heat and topography. The altitudinal gradient affects the distribution patterns of families and genera, the structure of plant community was different in different altitude plots, and the similarity of plant community was very different. The pan-tropic distribution of families was dominant, and the pan-tropic, tropical Asia and north temperate distribution of genera were relatively high. Therefore, long-term monitoring of forest dynamics in the tropical mountain rain forest will promote a deeper understanding of the community formation and species diversity maintenance mechanism of this type of rain forests.

## Keywords

Yinggeling Mountain, Tropical Mountain Rain Forest, Altitude and Slope, Community Similarity, Species Diversity

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

热带雨林常见于赤道附近的热带地区，是全球物种多样性最丰富、结构最复杂、抵抗力稳定性最高的陆地森林生态系统[1]。我国的热带雨林地处热带亚洲边缘，属于热带季雨林类型，主要分布在海南全岛、云南南部河口和西双版纳、广西十万大山、西藏东南部墨脱县和台湾南部[2]。海南现存的热带雨林主要分布在海南中部山区的五指山、霸王岭、吊罗山、尖峰岭和鹦哥岭等自然保护区内，海南热带雨林物种组成种类丰富且富于热带性，是全球生物多样性研究的热点地区之一。

生物多样性研究是生态学研究的重点,而物种沿海拔梯度的变化规律是生物多样性研究的一个重点内容,一直以来也是生态学家感兴趣的问题,这在热带雨林地区也不例外[3]-[8]。目前,国内学者在尖峰岭、五指山、吊罗山、霸王岭等热带雨林地区开展了一些关于物种多样性空间分布格局的研究工作,研究结果均较好地揭示了热带雨林地区植物物种多样性、植物区系和植物群落结构与海拔等环境因子的密切关系[9]-[19]。现有的众多研究表明中间隆起的单峰分布格局是物种丰富度随海拔梯度升高最为广泛的变化模式,同时也存在单调递增或递减、先增加后减少等其他类型的变化模式[20] [21] [22] [23] [24]。由此可见,目前物种多样性的海拔分布格局仍未形成共识。不同区域的环境条件、山地相对高度以及地形地貌等因素会导致植物物种多样性的海拔分布格局不同[25]。因此,开展不同的区域、山体及生物类群多样性的海拔分布格局的个案研究十分必要,对于阐明特殊生境下植物多样性和海拔的关系意义重大。

海拔作为地理梯度,包含了温度、湿度和光照等诸多环境因子。不同海拔下的微气候、水热状况和土壤养分等环境因子存在差异,并且很大程度上影响着山地植物物种、植物区系和植物群落结构[26] [27] [28] [29] [30]。海南鹦哥岭国家级自然保护区海拔范围在 170~1812 m 之间,“中高周低”的地貌特征形成了与海拔变化对应的土壤和植被类型,主要包括热带低地雨林、热带季雨林、热带山地雨林、热带山地常绿林、热带针叶林和热带山顶矮林等类型,整个区域内的植被构成体现了热带-亚热带植被垂直谱带[31] [32]。作为华南地区原生性最强、连片面积最大的雨林,鹦哥岭是我国热带雨林生态系统保存最完整的区域之一,也是生物多样性研究的热点地区。一些学者已经在该特殊生境开展了有关珍稀濒危动植物群落的种群生态位、野生动植物资源、森林资源现状与可持续经营以及保护区管理和社区经济发展等研究工作,但是有关鹦哥岭热带山地雨林植物多样性的研究明显有限,植物多样性的海拔分布规律尚不明确[33]-[38]。本研究通过调查不同海拔固定样地内的植物参数(树高、胸径和冠幅)、物种等植被信息,通过重要值、物种多样性指数、丰富度指数、均匀性指数、生态优势度、Jaccard 群落相似性指数以及植物科、属的分布区系类型的分析,了解鹦哥岭热带山地雨林不同海拔处的植物群落组成、结构及多样性的变化特征,以期揭示鹦哥岭热带山地雨林植物多样性的海拔分布规律及其驱动因子,为该地区的植物多样性保护、资源的可持续利用以及环境适应性提供基础资料,为后续探讨热带山地雨林生物多样性的形成与维持机制奠定基础。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区域概况

海南鹦哥岭国家级自然保护区(以下简称“保护区”),是以热带雨林及其生态系统为主要保护对象的森林生态类型保护区。保护区位于海南岛中南部黎母山脉中段,地跨白沙县、琼中县、五指山市、乐东县和昌江县 5 个市县,与霸王岭国家级自然保护区、佳西省级自然保护区交界,总面积 50,464  $\text{hm}^2$ 。保护区属热带海洋性季风气候;年均气温 23 $^{\circ}\text{C}$ ~35 $^{\circ}\text{C}$ ,年降水量在 1500~2000 mm 之间,雨季旱季分明。保护区土壤类型以赤红壤、砖红壤、山地黄壤土为主。

### 2.2. 样地设置

本研究在保护区内选取 8 个 50 \* 50 m 的热带山地雨林固定样地作为研究样地具体情况(表 1)。

### 2.3. 样地调查

为方便开展样地植被调查工作,将 50 \* 50 m 固定样方分成 10 个 5 m \* 5 m 的 25  $\text{m}^2$  的小样方,采用“每木调查法”,对标准地内胸径 $\geq 1$  cm 的乔木树种进行测量,同时记录各树种的名称、胸径、树高、冠幅等指标。

**Table 1.** Descriptions of the plots on the northern and southern slopes at different altitudes in the tropical mountain rainforest of Yinggeling**表 1.** 鹦哥岭南、北坡向不同海拔热带山地雨林样方情况

样地编号 Samples Number	经度 Longitude	纬度 Latitude	样方大小(m) Quadrat size/m	海拔(m) Altitude/m	样地坡向 Slope Direction
YGL34	316979	2087370	50 * 50	406	南坡 S-slope
YGL23	329399	2108630	50 * 50	458	北坡 N-slope
YGL32	322965	2090400	50 * 50	550	南坡 S-slope
YGL22	322965	2090400	50 * 50	591	北坡 N-slope
YGL21	337172	2100230	50 * 50	745	南坡 S-slope
YGL24	327701	2104790	50 * 50	800	北坡 N-slope
YGL18	343784	2102380	50 * 50	1025	南坡 S-slope
YGL16	347716	2105320	50 * 50	1355	南坡 S-slope

注：1、YGL34 表示 34 号固定样地；2、经、纬度数值系公里网格，采用北京 54 坐标系统。

Note: 1. YGL34 means fixed sample plot NO.34, 2. Longitude and latitude are kilometer grids.

## 2.4. 物种多样性及群落特征值测定方法

利用植被调查数据测算样地生物多样性指数，包括重要值、物种多样性指数、丰富度指数、均匀性指数、生态优势度和群落相似性指数。

### 2.4.1. 重要值

通过样地调查数据的处理，确定群落的优势种以及各物种的重要值[39]。

$IV = (R_n + R_c + R_h + R_f) * 100\%$ ，式中： $R_n$  是相对密度，为某一物种个体数与全部物种个体数之比； $R_c$  为相对显著度(盖度)，对于乔木为某一物种胸高断面积与所有物种胸高断面积之比，对于灌木和草本为物种冠幅(盖度)占同层片植被总冠幅(总盖度)的比重； $R_h$  为相对高度，为某一物种的高度与所有物种高度和之比； $R_f$  为相对频度，为某一物种在相应调查样方中出现的频次。

### 2.4.2. 物种多样性

物种多样性计算采用  $\alpha$  多样性指标，具体测算根据马克平的方法进行[40]。(1) 物种多样性指数(Shannon-Wiener):  $H' = -\sum P_i \ln P_i$ ;

(2) 丰富度指数(Margelef):  $R = (S - 1) / \ln N$ ;

(3) 物种均匀度指数(Pielou 群落均匀度):  $J_{sw} = -\sum P_i \ln P_i / \ln$ ;

(4) 生态优势度(Simpson):  $D = \sum (n_i - 1) n_i / (N - 1) N$ 。

式中， $S$  为样地中树木种类总数， $N$  为样地中所有物种的个体总和， $P_i$  为种  $i$  的个体数占所有个体数的比率，即  $P_i = n_i / N$ 。

### 2.4.3. 植物区系

根据吴征镒等的世界种子植物科的分布区系类型和中国种子植物属的分布区类型完成样地植物群落的区系组成分析[41] [42]。

### 2.4.4. 群落相似性

采用 Jaccard 相似性系数，对热带山地雨林乔木植物群落相似性进行分析[43]。群落相似性系数

$C = c/a + b + c$ 。式中,  $C$  表示植物群落相似性系数,  $c$  表示两个植物群落中共有物种数,  $a$  和  $b$  分别表示群落  $A$  和  $B$  的物种总数。根据 Jaccard 相似性原理,  $C$  值反映植物群落的相似程度。当  $C$  为 0~0.25 时, 群落极不相似; 当  $C$  为 0.25~0.5 时, 群落中等不相似; 当  $C$  为 0.5~0.75 时, 群落中等相似; 当  $C$  为 0.75~1 时, 群落极相似。

## 2.5. 数据处理及分析

样地调查所有数据在 Excel 表格中进行整理, 利用 SPSS22.0 进行统计分析。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 不同海拔样地植物群落物种组成

从表 2 可以看出, 本研究的 8 个海拔的固定样地内共有乔木 61 科 146 属 246 种, 植物群落在科、属、种各分类水平数量随海拔梯度的升高呈现不同的变化规律, 并受坡向的影响。南坡植物群落在各分类水平上数量均随海拔的升高先升高后降低的“单峰”模式, 在 745 m 海拔处达到峰值; 北坡植物群落在各分类水平上数量随海拔的升高而升高。406~458 m 和 550~591 m 两组对应海拔处, 北坡植物群落在科、属、种各分类水平上的数量整体均多于南坡; 745~800 m 对应海拔处, 北坡植物群落在科分类水平上的数量多于南坡, 在属、种分类水平上的数量均少于南坡。由此可见, 海拔影响热带山地雨林植物群落的物种组成, 同时受坡向的影响。

**Table 2.** Species composition of plants at different altitudes in the tropical mountain rainforest of Yinggeling  
**表 2.** 鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植物群落的物种组成

海拔/m Altitude	科数 No. of family	属数 No. of genus	种数 No. of species
406	17	25	28
<b>458</b>	<b>23</b>	<b>39</b>	<b>45</b>
550	20	28	30
<b>591</b>	<b>26</b>	<b>39</b>	<b>51</b>
745	29	47	58
<b>800</b>	<b>31</b>	<b>45</b>	<b>56</b>
1025	28	44	55
1355	23	41	61
总计/Total	61	146	246

从表 3 可以看出, 406 m 海拔处样地(YGL34)植物群落, 壳斗科为绝对优势科, 锥属为绝对优势属, 越南白椎(*Castanopsis tonkinensis*)为绝对优势种; 458 m 海拔处样地(YGL23)植物群落, 壳斗科为绝对优势科, 锥属为绝对优势属, 海南栲(*Castanopsis hainanensis*)为绝对优势种; 550 m 海拔处样地(YGL32)植物群落, 壳斗科和山茶科为绝对优势科, 锥属和木荷属为绝对优势属, 越南白椎(*Castanopsis tonkinensis*)和荷木(*Schimasuperba Gardn et Champ*)为绝对优势种; 591 m 海拔处样地(YGL22)植物群落, 壳斗科为绝对优势科, 青冈属为绝对优势属, 布拉栎(*Cyclobalanopsis blakei Skan*)为绝对优势种; 745 m 海拔处样地(YGL21)植物群落, 大戟科为绝对优势科, 秋枫属为绝对优势属, 重阳木(*Bischofia polycarpa*)为绝对优势

种；800m 海拔处样地(YGL24)植物群落，壳斗科、山茶科和五加科为主要优势科，锥属、杨桐属和鹅掌柴属为主要优势属，越南白椎(*Castanopsisistonkinensis*)、海南杨桐(*Adinandrahainanensis*)和鹅掌柴(*Scheffleraoctophylla* (Lour.) Harms)为主要优势种；1025 m 海拔处样地(YGL18)植物群落，樟科、五列木科和壳斗科为主要优势科，厚壳桂属、五列木属和玫瑰木属为主要优势属，厚壳桂(*Cryptocaryachinensis* (Hance) Hemsl.)、五列木(*Pentaphylaxeuryoides*Gardn. et Champ.)和海南三脉木(*Rhodamniadumetorum* (Poir.) Merr. et Perry)为主要优势种；1355 m 海拔处样地(YGL16)植物群落，壳斗科为绝对优势科，青冈属为绝对优势属，栎子青冈(*Cyclobalanopsisblakei* (Skan) Schott.)为绝对优势种。

**Table 3.** The dominant tree species and important values of eight samples at different altitudes in the tropical mountain rainforest of Yinggeling (Top 3)

**表 3.** 鹦哥岭热带山地雨林不同海拔样地群落乔木层优势物种及重要值(前 3)

样地及海拔 Sample plot and altitude	种名 Species	属名 Genus	科名 Family	相对多度 Relation abundance	相对胸高断面面积 Relation Basal area	重要值 Important values
	<b>越南白椎</b> <i>Castanopsisistonkinensis</i>	<b>锥属</b> <b>Castanopsis</b>	<b>壳斗科</b> <b>Fagaceae</b>	<b>67.50</b>	<b>77.46</b>	<b>72.52</b>
YGL34/406m	黄杞 <i>Engelhardiaroxburghiana</i> Wall.	黄杞属 Engelhardia	胡桃科 Juglandaceae	7.19	7.49	7.29
	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	枫香树属 Liquidambar L.	金缕梅 Hamamelidaceae	2.19	4.40	3.13
	<b>海南栲</b> <i>Castanopsishainanensis</i>	<b>锥属</b> <b>Castanopsis</b>	<b>壳斗科</b> <b>Fagaceae</b>	<b>17.07</b>	<b>27.23</b>	<b>22.06</b>
YGL23/458m	印度栲 <i>Castanopsisindica</i> (Roxburgh ex Lindley) A. DC.	锥属 Castanopsis	壳斗科 Fagaceae	10.98	9.69	10.60
	枫香 <i>Liquidambar formosana</i> H- ance	锥属 Castanopsis	壳斗科 Fagaceae	7.93	13.56	10.55
	<b>越南白椎</b> <i>Castanopsisistonkinensis</i>	<b>锥属</b> <b>Castanopsis</b>	<b>壳斗科</b> <b>Fagaceae</b>	<b>27.89</b>	<b>32.32</b>	<b>30.72</b>
YGL32/550m	荷木 <i>Schimasuperba</i> Gardn et Champ	木荷属 SchimaReinw.	山茶科 Theaceae	27.38	28.60	27.00
	黄杞 <i>Engelhardiaroxburghiana</i> Wall.	黄杞属 Engelhardia	胡桃科 Juglandaceae	15.31	17.66	16.06
	<b>布拉栎</b> <i>Cyclobalanopsisblakei</i> Skan	<b>青冈属</b> <b>Cyclobalanopsi- sOerst.</b>	<b>壳斗科</b> <b>Fagaceae</b>	<b>9.31</b>	<b>35.06</b>	<b>19.65</b>
YGL22/591m	白背槭 <i>Acer laurinum</i>	漆属 Toxicodendron	漆树科 Anacardiaceae	19.61	3.93	13.56
	黄丹木姜 <i>Litseaelonga- ta</i> (Wall.exNees)Benth.et Hook.f.	山胡椒属 LinderaThunb.	樟科 Lauraceae	6.37	3.27	5.41

续表

	重阳木 <i>Bischofiapolycarpa</i>	秋枫属 <i>Bischofia</i>	大戟科 <i>Euphorbiaceae</i>	1.55	46.59	16.84
YGL21/745m	越南山矾 <i>Symplocos cochinchinensis</i> (Lour.) S. Moore	山矾属 <i>Symplocos</i> Jacq	山矾科 <i>symplocaceae</i>	16.41	3.83	11.21
	乌墨(乌楣) <i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	蒲桃属 <i>Syzygium</i> Gaertn.	桃金娘科 <i>Myrtaceae</i>	0.93	22.57	8.28
	越南白椎 <i>Castanopsis tonkinensis</i>	锥属 <i>Castanopsis</i>	壳斗科 <i>Fagaceae</i>	6.58	25.57	13.64
YGL24/800m	海南杨桐 <i>Adinandrahainanensis</i>	杨桐属 <i>Adinandra</i> Jack	山茶科 <i>Theaceae</i>	12.60	11.15	12.86
	鹅掌柴 <i>Schefflera octophylla</i> (Lour.) Harms	鹅掌柴属 <i>Araliaceae</i>	五加科 <i>Araliaceae</i>	12.88	11.85	12.76
	厚壳桂 <i>Cryptocaryachinensis</i> (Hance) Hemsl.	厚壳桂属 <i>Cryptocaryachinensis</i> (Hance) Hemsl	樟科 <i>Lauraceae</i>	8.46	6.45	7.93
YGL18/1025m	五列木 <i>Pentaphylax euroides</i> - <i>Gardn. et Champ.</i>	五列木属 <i>Pentaphylax</i> Gardn. et Champ.	五列木科 <i>Pentaphylacaceae</i>	5.00	13.59	7.79
	海南三脉木(玫瑰木) <i>Rhodamniadumetorum</i> (Poir.) Merr. et Perry	玫瑰木属 <i>Rhodamnia</i> Jack	桃金娘科 <i>Myrtaceae</i>	8.08	3.19	6.91
	栋子青冈 <i>Cyclobalanopsis blakei</i> (Skan) Schott.	青冈属 <i>Cyclobalanopsis</i> - <i>Oerst.</i>	壳斗科 <i>Fagaceae</i>	22.66	28.99	24.33
YGL16/1355m	米椎(白椎) <i>Castanopsis scarlesii</i> (Hemsl.)	锥属 <i>Castanopsis</i>	壳斗科 <i>Fagaceae</i>	6.32	8.48	7.14
	芳槁润楠 <i>Machilus suaveolens</i> S. Lee	润楠属 <i>Machilus</i> Nees	樟科 <i>Lauraceae</i>	2.83	6.70	4.39

### 3.2. 不同海拔植物区系成分分析

从表 4 可以看出, 鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植物群落科的泛热带分布比例占绝对优势, 其占比随海拔梯度的升高呈现先升高后降低的变化规律; 其次为北温带、东亚及热带南美洲间断和东亚及北美间断。属的泛热带、热带亚洲和北温带分布比例较高, 随海拔的升高呈现不规则变化。由此可见, 鹦哥岭热带山地雨林主要以泛热带分布、北温带和热带亚洲植物为主, 表现为共有的热带和温带性质, 且以热带性质显著。

另外, 不同海拔样地植物群落科的分布型以泛热带( $\geq 50\%$ )为主, 其他成分各有分布且占比不同。低海拔处样地科的泛热带成分和北温带成分分布比较相似, 中海拔处样地科的泛热带成分和热带南美洲间断成分分布比较相似, 高海拔处样地科的泛热带成分和东亚及热带成分分布比较相似。不同海拔样地植物群落属的分布型主要以泛热带和热带亚洲分布为主, 其他成分零星分布且占比不同。低海拔处样地属的泛热带成分与旧世界热带成分分布比较相似, 中海拔处样地属的泛热带成分、旧世界热带成分以及热带亚洲至热带非洲成分分布比较相似, 高海拔处样地属的热带亚洲成分和泛热带成分分布比较相似。

受海拔的影响, 样地之间虽然存在不同相似程度的科、属区系分布, 但各样地的泛热带与热带亚洲性质比较明显, 样地植物科、属的分布区系类型与鹦哥岭地处热带北缘, 受低纬度热带岛屿季风气候的影响相符。

**Table 4. The Family and Genus distribution types of plants at different altitudes in the tropical mountain rainforest of Yinggeiling**  
**表 4. 鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植物科、属的分布区系类型**

分布区类型 Areal-types	YGL34(406m)		YGL23(458m)		YGL32(550m)		YGL22(591m)		YGL2(745m)		YGL24(800m)		YGL18(1025m)		YGL16(1355m)	
	科数 No. of family	属数 No. of genera	科数 No. of family	属数 No. of genera	科数 No. of family	属数 No. of genera	科数 No. of family	属数 No. of genera	科数 No. of family	属数 No. of genera	科数 No. of family	属数 No. of genera	科数 No. of family	属数 No. of genera	科数 No. of family	属数 No. of genera
1. 世界广布(Cosmopolitan)	3	-	6	-	2	-	5	-	6	-	7	-	9	-	5	-
2. 泛热带(Pantropic)	7 (50.00)	8 (32)	9 (52.94)	10 (25.64)	11 (61.11)	6 (21.43)	14 (66.67)	9 (23.08)	14 (60.87)	12 (25.53)	12 (50)	14 (31.11)	12 (63.16)	12 (27.27)	9 (50)	10 (24.39)
3. 东亚(热带、亚热带)及热带南 美间断(Tropical & Subtropical East Asia & (South) Tropical America disjuncted)	3 (21.43)	4 (16)	-	6 (15.38)	-	1 (3.57)	3 (14.29)	3 (7.69)	4 (17.39)	5 (10.64)	4 (16.67)	1 (2.22)	3 (15.79)	2 (4.55)	4 (22.22)	3 (7.32)
4. 旧世界热带(Old World Tropics)	-	3 (12)	-	7 (17.95)	-	5 (17.86)	-	6 (15.38)	-	10 (21.28)	-	4 (8.89)	-	4 (9.09)	-	3 (7.32)
5. 热带亚洲至热带大洋洲 (Tropical Asia to Tropical Australasia Oceania)	-	1 (4)	-	2 (5.13)	-	1 (3.57)	-	6 (15.38)	-	4 (8.51)	1 (4.17)	3 (6.67)	-	4 (9.09)	-	2 (4.88)
6. 热带亚洲至热带非洲 (Tropical Asia to Tropical Africa)	-	3 (12)	-	5 (12.82)	-	4 (14.29)	-	1 (2.56)	-	5 (10.64)	-	2 (4.44)	-	2 (4.55)	-	2 (4.88)
7. 热带亚洲(热带东南亚至印 度-马来, 太平洋诸岛) (Trop- ical Asia) (Tropical Southeast Asia + Indo-Malaya + Tropical South & Southwest Pacific Island)	-	6 (24)	-	5 (12.82)	-	8 (28.57)	-	12 (30.77)	2 (8.70)	9 (19.15)	2 (8.33)	15 (33.33)	1 (5.26)	13 (29.55)	2 (11.11)	14 (34.15)
8. 北温带(North Temperate)	4 (28.57)	-	4 (23.53)	2 (5.13)	4 (22.22)	-	4 (19.05)	2 (5.13)	1 (4.35)	1 (2.13)	4 (16.67)	1 (2.22)	2 (10.53)	1 (2.27)	2 (11.11)	4 (9.76)
9. 东亚及北美间断(East Asia & North America disjuncted)	-	-	3 (17.65)	2 (5.13)	3 (16.67)	3 (10.71)	-	-	-	-	1 (4.17)	5 (11.11)	1 (5.26)	5 (11.36)	1 (5.56)	2 (4.88)
10. 旧世界温带(Old World Temperate)	-	-	1 (5.88)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11. 温带亚洲(Temperate Asia)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12. 地中海、西亚至东亚 (Mediterranean, West to Central Asia)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13. 中亚(Central Asia)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14. 东亚(East Asia)	-	-	-	-	-	-	-	-	2 (8.70)	2 (4.26)	-	-	-	-	-	-
15. 中国特有(Endemic to China)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 (2.27)	-	1 (2.44)
合计 Total	17 (100)	25 (100)	23 (100)	39 (100)	20 (100)	28 (100)	26 (100)	39 (100)	29 (100)	47 (100)	31 (100)	45 (100)	28 (100)	44 (100)	33 (100)	41 (100)

注: O 中为占比, %.  
 Note: O is proportion, %.



### 3.3. 不同海拔植物物种多样性分析

从表 5 可以看出, 植物群落中的多样性指数随海拔升高整体呈现出不规则的变化规律。物种多样性指数、均匀度指数和生态优势度指数均在 1025 m 海拔处最高, 在 406 m 海拔处最低; 丰富度指数在 1355 m 海拔处最高, 在 406 m 海拔处最低。不同坡向样地植物物种多样性随海拔的升高呈现不同的规律。在南坡, 植物物种多样性指数、均匀度指数和生态优势度指数随海拔升高先升高后降低的“单峰”规律, 在 1025 m 海拔处最高; 植物物种丰富度指数随海拔升高先升高后降低再升高的“双峰”规律, 分别在 745 m 和 1355 m 出现峰值, 在 1355 m 海拔处最高。在北坡, 植物物种多样性指数和均匀度指数随海拔的升高先升高后降低, 在 591 m 海拔处最高, 植物物种生态优势度指数和丰富度指数随海拔的升高持续升高。南坡和北坡的植物物种多样性指数、均匀度指数随海拔升高的变化规律一致, 而南坡和北坡的植物物种生态优势度指数、丰富度指数随海拔升高的变化规律不一致。406~458 m 和 550~591 m 两组对应海拔处的植物多样性指数, 北坡均大于南坡; 745~800 m 对应海拔处的植物物种多样性指数、均匀度指数和丰富度指数; 北坡均小于南坡, 植物生态优势度指数, 北坡大于南坡。由此可见, 同一海拔高度, 坡向影响植物群落的结构和组成及其物种的多样性。

**Table 5.** Species diversity of plant communities at different altitudes in the tropical mountain rainforest of Yinggeling  
**表 5.** 鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植物群落多样性比较

海拔/米 Altitude/m	多样性指数 diversity			
	物种多样性指数 (Shannon-Wiener)/H'	均匀度指数 (Pielou)/E	生态优势度指数 (Simpson)/D	丰富度指数 (Margelef)/R
406	1.3430	0.1321	0.3546	6.2070
<b>458</b>	<b>3.3300</b>	<b>0.6352</b>	<b>0.8547</b>	<b>9.8410</b>
550	2.1820	0.2860	0.7540	6.6670
<b>591</b>	<b>3.8040</b>	<b>0.8799</b>	<b>0.8631</b>	<b>11.5800</b>
745	3.7260	0.7159	0.8717	13.1600
<b>800</b>	<b>3.6300</b>	<b>0.6731</b>	<b>0.8841</b>	<b>12.5900</b>
1025	4.2890	1.3250	0.9238	12.5500
1355	3.8910	0.7898	0.8706	13.9600

### 3.4. 不同海拔植物群落相似性系数

鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植被群落在科分类水平, 相似性系数在 0.1~0.3 (表 6), 为中等不相似; 在属和种分类水平, 相似性系数在 0~0.25 (表 7, 表 8), 为极不相似。

**Table 6.** Family level similarity of plant communities at different altitudes in the tropical mountain rainforest of Yinggeling  
**表 6.** 鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植物群落科水平相似性

海拔/m Altitude/m	<b>406</b>	458	<b>550</b>	591	<b>745</b>	800	<b>1025</b>
458	0.2982 (17)	-	-	-	-	-	-
<b>550</b>	<b>0.2449 (12)</b>	0.2586 (15)	-	-	-	-	-

续表

591	0.1887 (10)	0.2097 (13)	0.2581 (16)	-	-	-	-
<b>745</b>	<b>0.2333 (14)</b>	0.1707 (14)	<b>0.2462 (16)</b>	0.2361 (17)	-	-	-
800	0.2258 (14)	0.2174 (15)	0.2273 (15)	0.2500 (19)	0.2857 (24)	-	-
<b>1025</b>	<b>0.1964 (11)</b>	0.2388 (16)	<b>0.2258 (14)</b>	0.2059 (14)	<b>0.1493 (10)</b>	0.2716 (22)	-
<b>1355</b>	<b>0.1837 (9)</b>	0.1622 (12)	<b>0.2182 (12)</b>	0.2344 (15)	<b>0.2353 (16)</b>	0.2500 (18)	<b>0.2154 (14)</b>

注：“()”内为两样地植物共有的科数量。

Note: In “()” is the number of common families of the plants in two sample plot.

**Table 7.** Genus level similarity of plant communities at different altitudes in the tropical mountain rainforest of Yinggeling  
**表 7.** 鹦哥岭热带雨林不同海拔植物群落属水平相似

海拔/m Altitude/m	<b>406</b>	458	<b>550</b>	591	<b>745</b>	800	<b>1025</b>
458	0.2000 (16)	-	-	-	-	-	-
<b>550</b>	<b>0.2206 (15)</b>	0.1928 (16)	-	-	-	-	-
591	0.1233 (9)	0.1522 (14)	0.1625 (13)	-	-	-	-
<b>745</b>	<b>0.1529 (13)</b>	0.1954 (17)	<b>0.1279 (11)</b>	0.1731 (18)	-	-	-
800	0.1667 (14)	0.1429 (14)	0.1512 (13)	0.1429 (14)	0.1402 (15)	-	-
<b>1025</b>	<b>0.1375 (11)</b>	0.1531 (15)	<b>0.1818 (16)</b>	0.1616 (16)	<b>0.1250 (13)</b>	0.2124 (24)	-
<b>1355</b>	<b>0.1081 (8)</b>	0.1351 (10)	<b>0.1266 (10)</b>	0.1579 (15)	<b>0.1111 (11)</b>	0.1731 (18)	<b>0.1748 (18)</b>

注：“()”内为两样地植物共有的属数量。

Note: In “()” is the number of common genus of the plants in two sample plot.

**Table 8.** Species level similarity of plant communities at different altitudes in the tropical mountain rainforest of Yinggeling  
**表 8.** 鹦哥岭热带雨林不同海拔植物群落种水平相似性

海拔/m Altitude/m	<b>406</b>	458	<b>550</b>	591	<b>745</b>	800	<b>1025</b>
458	0.1705 (15)	-	-	-	-	-	-
<b>550</b>	<b>0.1944 (14)</b>	0.1279 (11)	-	-	-	-	-
591	0.0814 (7)	0.0588 (6)	0.0357 (3)	-	-	-	-
<b>745</b>	<b>0.0851 (8)</b>	0.0965 (11)	<b>0.0435 (4)</b>	0.0439 (5)	-	-	-
800	0.1340 (13)	0.0901 (10)	0.1134 (11)	0.0855 (10)	0.0952 (12)	-	-
<b>1025</b>	<b>0.0460 (4)</b>	0.0385 (4)	<b>0.0761 (7)</b>	0.0275 (3)	<b>0.0174 (2)</b>	0.1048 (13)	-
<b>1355</b>	<b>0.0430 (4)</b>	0.0275 (3)	<b>0.0319 (3)</b>	0.0588 (7)	<b>0.0556 (7)</b>	0.0859 (11)	<b>0.0720 (9)</b>

注：“()”内为两样地植物共有的种数量。

Note: In “()” is the number of common species of the plants in two sample plot.

## 4. 讨论

### 4.1. 不同海拔间物种组成差异

海拔梯度变化所反映的微气候、水热及土壤养分等环境因子的变化是影响山地物种组成和群落结构的重要因素[44]，本研究中不同海拔样地群落结构差异大，各海拔处植物群落的优势科、属及种不同。南坡植被群落物种优势地位突出，分布不均匀，该结果与卓书辉等人对五指山自然保护区不同坡向和海拔的乔木群落物种分布格局的研究结果一致[14]。大量研究表明，物种沿海拔梯度升高的分布格局主要包括先降低后升高、先升高后降低、单调升高、单调下降和无明显变化几种[21]。本研究中植被物种丰富度整体随海拔梯度的升高呈现先升高后减低的变化规律，其中南坡为中峰分布格局，北坡为持续升高规律，该研究结果与刘玉祯等对青藏高原东端日月山支脉的研究结果一致[45]。

群落物种多样性的研究有助于了解物种的空间分布规律，并揭示群落多样性与环境的相互作用过程[46]。本研究中，样地物种多样性整体随海拔升高先升高后降低，且南坡和北坡趋势一致，均符合“中间高度膨胀学说”，该结果与卓书辉等人对五指山自然保护区和周倩倩等人对麦积国家森林公园的研究结果一致[14] [47]。本研究中 406 m 和 1025 m 海拔处的物种多样性指数、均匀度指数均为最高和最低，说明 406 m 海拔处植物群落结构不稳定，优势现象明显，而 1025 m 海拔处植物群落结构稳定，优势现象不明显。这与 1025 m 海拔处样地处于保护区核心地区，受人为干扰小，土壤养分高且光照、水分均充足等环境因素相关。物种多样性空间分布格局受物种的环境适应性、环境异质性、物种的竞争(种内和种间)以及物种生活史策略等因素的影响[48] [49]。本研究中不同坡向的“低”、“中”对应海拔处(406~458 m, 550~591 m)的植物群落多样性指数，南坡均低于北坡；“高”对应海拔处(745~800 m)的植物群落 Shannon-Wiener 指数和 Pielou 均匀度指数，南坡小于北坡，而南坡 Margelef 丰富度指数大于北坡，Simpson 指数基本一致。该研究结果与胡佳玉、卓书辉等人对五指山保护区不同坡向和海拔的群落物种多样性的研究结果一致[14] [50]。受鹦哥岭地形的影响，北坡为阴坡，光照辐射小、水分蒸发少，土壤含水量高于南坡(阳坡)，外加山脉起伏变化、地形多样等特点造成水热、光照等因子复杂多变，形成丰富多样的小气候，有利于植物生长，物种多样性高，群落结构相对复杂；而南坡地形较北坡平坦，坡度变化较小，光照辐射强等因素导致土壤蒸发量较北坡大，提供植物生长的生态位比北坡少，物种多样性相对较低，植物群落结构相对简单。

### 4.2. 不同海拔植物区系特征变化

从植物的科和属的地理区系分布类型的组成来看，本研究中鹦哥岭热带山地雨林不同海拔植物群落区系类型多样，但泛热带区分布类型占优势。各海拔样地植物群落科的区系组成以泛热带分布类型为主，占样地总科数的 50% 以上；各海拔样地植物群落属的区系组成以泛热带和热带亚洲分布类型为主。区系成分与杨小波等对海南五指山和吕晓波等对海南霸王岭的研究结果一致，与韩天宇等人对海南吊罗山低地雨林群落特征的分析研究结果略有不同，海南吊罗山低地热带雨林群落以热带亚洲属最多[16] [19] [51]。由此可见，海南鹦哥岭热带山地雨林群落区系成分表征与五指山和霸王岭区系表征更相似。受海拔的影响，鹦哥岭热带山地雨林样地之间虽然存在不同相似程度的科、属区系分布，但各样地的泛热带与热带亚洲性质比较明显，样地植物科、属的分布区系类型与鹦哥岭热带山地雨林地处热带北缘，受低纬度热带岛屿季风气候的影响相符。

### 4.3. 不同海拔植物群落相似性变化

本研究中，不同海拔间植物群落在科分类水平为中等不相似，在属和种分类水平为极不相似，该结果与张文等对喀斯特山地草地植物群落结构与相似性特征的研究结果一致[52]。1025 m 与 745 m 海拔间

在科和种分类水平上相似性最低, 1355 m 与 745 m 海拔间在属分类水平上相似性最低; 458 m 与 406 m 海拔间在科分类水平上相似性最高, 550 m 与 406 m 海拔间在属和种分类水平上相似性最低。由此可见越接近“中间”海拔高度的植被, 群落相似性越低。相反, 越接近低海拔高度的植被, 群落相似性越高。另外, 本研究还发现同一坡向不同海拔间植物群落在科、属、种水平上的相似性均值, 北坡均大于南坡; 同一坡向不同海拔间植物群落在科、属、种水平上的相似性均值均小于不同坡向对应海拔处之间植物群落的相似性均值, 这一结果与刘玉祯等对高寒山地草甸植被分布格局特征的研究结果不同[45]。综上所述, 不同海拔间植物群落相似性特征可能与不同海拔和坡向样地的地貌、地形、水热条件、光照强度、土壤性质等局部小环境以及样地受人为干扰程度的不同相关。

## 5. 结论

样地植物群落物种丰富, 共 61 科 146 属 246 种。壳斗科、山茶科、大戟科以及樟科为主要优势科, 各样地优势科、属、种均随海拔梯度的变化存在差异。406 m、458 m、550 m、591 m、745 m、800 m、1025 m 和 1355 m 海拔处样地的优势物种分别为越南白椎、海南栲、布拉栎 + 白背槭、重阳木 + 越南山矾、越南白椎 + 海南杨桐 + 鹅掌柴、厚壳桂 + 五列木 + 海南三脉木 + 尖峰润楠、栎子青冈。

样地植物物种丰富度和物种多样性整体随海拔梯度的升高呈现先升高后降低, 分布符合中峰分布格局特点和“中间高度膨胀学说”。海拔梯度影响植物群落科、属的分布型, 样地植物群落科的泛热带分布占绝对优势, 属的泛热带、热带亚洲和北温带分布比例较高。不同海拔样地间的植物群落结构差异大, 群落相似性低, 其中在科分类水平为中等不相似, 在属和种分类水平为极不相似。

综上所述, 海拔和坡向共同影响植物群落的结构、组成及物种多样性, 可能与地貌、地形、水热及光照条件等复杂多变的环境因子相关。由于缺乏样地水分、光照和生态竞争等环境因子的监测数据, 尚未开展其与植物群落的相关性分析, 后期持续开展热带山地雨林的动态监测, 分析其群落结构、物种组成及其影响因子, 将有助于理解热带山地雨林内物种在演替过程中的竞争变化规律, 为进一步研究该类型热带雨林内物种共存机制、群落动态、演替规律以及生态系统功能的恢复与稳定机制等奠定基础。

## 基金项目

海南省自然科学基金面上项目(320MS040): 鹦哥岭热带雨林土壤微生物多样性及其影响因子的研究。

## 参考文献

- [1] Wilson, E.O. (1994) *The Diversity of Life*. Harvard University Press, Cambridge.
- [2] 杨小波, 顾晓军, 李天平, 卢刚. 海南中国典型热带雨林[J]. *森林与人类*, 2021(10): 22-27.
- [3] He, F.L., La Frankie, J.V. and Song, B. (2002) Scale Dependence of Tree Abundance and Richness in a Tropical Rain Forest, Malaysia. *Landscape Ecology*, **17**, 559-568. <https://doi.org/10.1023/A:1021514104193>
- [4] Kallimanis, A.S., Halley, J.M., Vokou, D. and Sgardelis, S.P. (2008) The Scale of Analysis Determines the Spatial Pattern of Woody Species Diversity in the Mediterranean Environment. *Plant Ecology*, **196**, 143-151. <https://doi.org/10.1007/s11258-007-9341-6>
- [5] Koenig, I., Feldmeyer-Christe, E. and Mitchell, E.A.D. (2015) Comparative Ecology of Vascular Plant, Bryophyte and Testate Amoeba Communities in Four Sphagnum Peatlands along an Altitudinal Gradient in Switzerland. *Ecological Indicators*, **54**, 48-59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.01.043>
- [6] Lomolino, M.V. (2001) Elevation Gradients of Species-Density: Historical and Prospective Views. *Global Ecology and Biogeography*, **10**, 3-13. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822x.2001.00229.x>
- [7] Oommen, M.A. and Shanker, K. (2005) Elevational Species Richness Patterns Emerge from Multiple Local Mechanisms in Himalayan Woody Plants. *Ecology*, **86**, 3039-3047. <https://doi.org/10.1890/04-1837>
- [8] Swenson, N.G., Anglada-Cordero, P. and Barone, J.A. (2011) Deterministic Tropical Tree Community Turnover: Evidence from Patterns of Functional  $\beta$  Diversity along an Elevational Gradient. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **278**, 877-884. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1369>

- [9] 李艳朋, 许涵, 李意德, 骆士寿, 陈德祥, 周璋, 林明献, 杨怀. 海南尖峰岭热带山地雨林物种多样性空间分布格局的尺度效应[J]. 植物生态学报, 2016, 40(9): 861-870.
- [10] 王伯荪, 张炜银, 张军丽. 海南岛热带山地雨林群落物种多样性的空间格局分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(3): 229-234.
- [11] 王家鸣, 许涵, 李意德, 林明献, 周璋, 骆士寿, 陈德祥. 地形异质化对尖峰岭热带山地雨林木本植物群落结构及多样性的影响[J]. 林业科学, 2018, 54(1): 1-11.
- [12] 许涵, 李意德, 林明献, 等. 海南尖峰岭热带山地雨林 60 ha 动态监测样地群落结构特征[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 192-201.
- [13] 安树青, 朱学雷, 王峥峰, 等. 海南五指山热带山地雨林植物物种多样性研究[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 803-809.
- [14] 卓书辉, 胡能, 陈康, 李佳灵, 尹为治, 黄良鸿, 龙文兴. 五指山自然保护区不同坡向和海拔的乔木群落物种分布格局[J]. 热带生物学报, 2017, 8(4): 436-443.
- [15] 黄康有, 廖文波, 金建华, 郑卓. 海南吊罗山植物群落特征和物种多样性分析[J]. 生态环境, 2007, 16(3): 900-905.
- [16] 韩天宇, 沈燕, 王旭, 杨锦昌, 邹文涛, 李荣生. 海南吊罗山低低雨林群落特征分析[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(3): 43-49.
- [17] 陈彘, 方燕山, 方发之, 韩东苗, 吴钟亲, 陈修仁. 海南霸王岭坡垒分布格局初步研究[J]. 热带林业, 2016, 44(3): 40-42.
- [18] 刘浩栋, 陈巧, 徐志杨, 刘洋, 姜怡, 陈永富. 海南霸王岭陆均松天然群落物种多样性及地形因子的解释[J]. 生态学杂志, 2020, 39(2): 394-403.
- [19] 吕晓波, 杨立荣, 杨小波, 李东海, 陶楚, 万春红, 杨民. 海南霸王岭壳斗科植物优势的山地雨林群落特征初步研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(29): 14300-14303.
- [20] Mccainc, C.M. (2010) Global Analysis of Reptile Elevational Diversity. *Global Ecology and Biogeography*, **19**, 541-553. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00528.x>
- [21] Ohsawa, M. (1995) Latitudinal Comparison of Altitudinal Changes in Forest Structure, Leaf 2 Type, and Species Richness in Humid Monsoon Asia. *Vegetatio*, **121**, 3-10. <https://doi.org/10.1007/BF00044667>
- [22] 段文军, 王金叶. 猫儿山自然保护区森林群落垂直格局与主导因素分析[J]. 生态环境学报, 2013, 22(4): 563-566.
- [23] 冯建孟, 王襄平, 徐成东, 等. 玉龙雪山植物物种多样性和群落结构沿海拔梯度的分布格局[J]. 山地学报, 2006, 24(1): 110-116.
- [24] 井学辉, 臧润国, 丁易, 等. 新疆阿尔泰山小东沟北坡植物多样性沿海拔梯度分布格局[J]. 林业科学, 2010, 46(1): 23-28.
- [25] 朱源, 康幕谊, 江源, 等. 贺兰山木本植物群落物种多样性的海拔格局[J]. 植物生态学报, 2008, 32(3): 574-581.
- [26] 方精云. 探索中国山地植物多样性的分布规律[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 1-4.
- [27] 贺金生, 陈伟烈. 陆地植物群落物种多样性的梯度变化特征[J]. 林业与环境科学, 1997, 17(1): 91-99.
- [28] 龙文兴. 植物生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [29] 马和平, 郑维列, 石玉龙, 东主. 藏东南色季拉山苔藓植物垂直分布特征初步研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(5): 102-108.
- [30] 王发国, 张荣京, 邢福武, 等. 海南鹦哥岭自然保护区的珍稀濒危植物与保育[J]. 武汉植物学研究, 2007, 25(3): 303-309.
- [31] 姜祖扬, 王伟峰, 刘磊, 林帅, 许碧果. 海南鹦哥岭省级自然保护区森林现状与发展初步分析[J]. 热带林业, 2012, 40(3): 16-19.
- [32] 刘磊, 王合升, 王云鹏, 等. 海南鹦哥岭自然保护区 SWOT 分析[J]. 热带林业, 2008, 36(1): 9-11.
- [33] 廖常乐, 王合升, 黄娟, 王慧颖. 鹦哥岭自然保护区鹦哥岭自然保护区树蛙种群分布及数量调查[J]. 动物学杂志, 2013, 48(3): 377-381.
- [34] 王慧颖, 廖常乐, 王合升, 王云鹏, 许碧果, 蔡金山. 鹦哥岭自然保护区保护区海南疣螈分布、种群与栖息地生境特征研究[J]. 四川动物, 2013, 32(3): 434-437.
- [35] 吴庭天, 张凯, 杨小波, 龙成, 岑举人, 李东海. 海南鹦哥岭自然保护区广东松(*Pinus kwangtungensis*)群落优势种群的生态位[J]. 热带生物学报, 2017, 8(4): 444-452.

- [36] 徐碧果. 鹦哥岭自然保护区与社区经济协调发展对策研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2017.
- [37] 张荣京, 陈红锋, 叶育石, 吴世捷, 邢福武, 王发国. 海南鹦哥岭自然保护区的种子植物资源[J]. 华南农业大学学报, 2010, 31(3): 116-118.
- [38] 周婷. 鹦哥岭自然保护区森林资源现状及可持续经营分析[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2015.
- [39] 孙儒泳, 李庆芳, 牛翠娟, 娄安如. 基础生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [40] 马克平. 生物群落多样性的测度方法 I.  $\alpha$ 多样性的测度方法(上) [J]. 生物多样性, 1994, 2(2): 103-107.
- [41] 吴征镒, 周浙琨, 李德珠, 彭华, 孙航. 世界种子植物科的分布区类型系统[J]. 云南植物研究, 2003, 25(3): 245-257.
- [42] 吴征镒. 中国种子植物属的分布区类型[J]. 云南植物研究, 1991(增刊 IV): 1-139.
- [43] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [44] 袁业, 孙国龙, 苑美燕, 张志东. 塞罕坝植物物种丰富度海拔分布格局[J]. 安徽农业科学学报, 2017, 44(3): 496-501.
- [45] 刘玉祯, 刘文婷, 冯斌, 时光, 孙彩彩, 李彩弟, 张小芳, 董全民. 坡向和海拔对高寒山地草甸植被分布格局特征的影响[J]. 草地学报, 2021, 29(3): 1166-1173.
- [46] 黄建辉. 物种多样性的空间格局及其形成机制初探[J]. 生物多样性, 1994, 2(3): 103-107.
- [47] 周倩倩, 高见. 麦积国家森林公园植被群落特征及其物种多样性垂直变化[J]. 林业科技通讯, 2019, 8(3): 16-23.
- [48] Kenkel, N.C., Hendrie, M.L. and Bella, I.E. (1997) A Long-Term Study of *Pinus banksiana* Population Dynamics. *Journal of Vegetation Science*, **8**, 241-254. <https://doi.org/10.2307/3237353>
- [49] Rozas, V. (2003) Regeneration Patterns, Dendroecology, and Forest-Use History in an Old-Growth Beech Oak Lowland Forest in Northern Spain. *Forest Ecology and Management*, **182**, 175-194. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00070-7)
- [50] 胡玉佳, 汪永华, 丁小球, 黄向. 海南岛五指山不同坡向的植物物种多样性比较[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2003(2): 86-89.
- [51] 杨小波, 林英, 梁淑群. 海南岛五指山的森林植被 II. 五指山森林植被的植物种群分析与森林结构分析[J]. 海南大学学报(自然科学版), 1994(4): 311-323.
- [52] 张文, 张建利, 周玉峰, 安明态, 吴佳海, 杨瑞. 喀斯特山地草地植物群落结构与相似性特征[J]. 生态环境学报, 2011, 20(5): 843-848.