

广西九万山国家级自然保护区植物多样性调查

蒋裕良¹, 覃勇荣^{1*}, 覃国乐¹, 邓晰朝¹, 韦有乾², 彭廖华²

¹河池学院化学与生物工程学院, 广西 宜州

²广西九万山国家级自然保护区管理局, 广西 融水

Email: jiangyuliang@126.com, hcxqyr@126.com

收稿日期: 2021年7月12日; 录用日期: 2021年8月12日; 发布日期: 2021年8月19日

摘要

在九万山国家级自然保护区生物多样性监测固定样地(一期)建设项目资助下,于2011年7月至8月期间对自然保护区内24个固定样地开展植物多样性调查,利用丰富度、Shannon-Wiener指数、Simpson指数以及均匀度PieLou指数,对植物多样性进行研究,比较核心区、缓冲区以及实验区的植物(物种)多样性,并对植物多样性指数与海拔高度、坡向、坡度的相关性进行了初步分析。结果表明:九万山自然保护区植物多样性较高,群落总体丰富度范围为31~80,Shannon-Wiener指数值范围为2.8861~3.8108,Simpson指数值范围为0.9248~0.9673,均匀度指数范围为0.7947~0.8980。总体而言,植物多样性表现为核心区大于实验区和缓冲区。乔木的物种多样性与海拔关系不明显,灌木、草本的均匀度与海拔高度呈显著负相关。坡向与坡度对灌木多样性影响较显著,半阳坡、半阴坡和阴坡三个坡面的比较,灌木丰富度、Shannon-Wiener指数为半阳坡 > 半阴坡 > 阴坡,Simpson指数、均匀度PieLou指数为半阴坡 > 半阳坡 > 阴坡。缓坡、陡坡和险坡三个坡度比较,多样性指数均为陡坡 > 险坡 > 缓坡。为进一步加强自然保护区管理,促进社区经济可持续发展,笔者还提出了一些生物多样性保护方面的建议和措施。

关键词

广西九万山, 国家级自然保护区, 固定样地, 植物多样性调查

Investigation of Plant Diversity in Jiuwan Mountain National Nature Reserve of Guangxi Province

Yuliang Jiang¹, Yongrong Qin^{1*}, Guole Qin¹, Xichao Deng¹, Youqian Wei², Liaohua Peng²

*通讯作者。

文章引用: 蒋裕良, 覃勇荣, 覃国乐, 邓晰朝, 韦有乾, 彭廖华. 广西九万山国家级自然保护区植物多样性调查[J]. 世界生态学, 2021, 10(3): 378-395. DOI: [10.12677/ije.2021.103043](https://doi.org/10.12677/ije.2021.103043)

¹School of Chemistry and Bio-Engineering, Hechi University, Yizhou Guangxi

²The Administration Bureau of Jiuwan Mountain National Natural Reserve, Rongshui Guangxi

Email: jiangyuliang@126.com, *hcxyqyr@126.com

Received: Jul. 12th, 2021; accepted: Aug. 12th, 2021; published: Aug. 19th, 2021

Abstract

Under funding of biodiversity monitoring fixed sample plots construction project (first phase) of Jiuwan mountain national nature reserve, plant biodiversity of the 24 fixed sample plots in the nature reserve were investigated during July to August, 2011. The richness, *Shannon-Wiener* index, *Simpson* index and *Pielou* evenness index were used to calculate the plant diversity. Then the plant diversity of core area, buffer area and experimental area had been compared, and the relativity between plant diversity and some factors such as altitude, slope and slope aspect had been studied. The results show that Jiuwan mountain nature reserve has relatively high plant diversity: richness 31~80, *Shannon-Wiener* index 2.8861~3.8108, *Simpson* index 0.9248~0.9673 and *Pielou* evenness index 0.7947~0.8980. The community diversity index follows the order of core area > experimental area > buffer area. Diversity of tree layer by four indexes above has no significant variation in altitude, while *Pielou* evenness index of shrubs and herbs is significantly negatively correlated with altitude. The aspect and slope have a significant impact on the diversity of shrubs. The richness, *Shannon-Wiener* index of shrub follow the order of half sunny slope > half shady slope > shady slope, while *Simpson* index and *Pielou* evenness index with the following order: half shady slope > half sunny slope > shady slope. And the shrub communities with the following diversity indexes order: steep slope > dangerous slope > gentle slope. In order to further strengthen the management of the nature reserves, so as to promote the sustainable development of community economy, some suggestions and measures for biodiversity protection were put forward by the authors.

Keywords

Jiuwan Mountain of Guangxi Province, National Natural Reserve, Fixed Sample Plots, Investigation of Plant Diversity

Copyright © 2021 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. 前言

生物多样性, 是指地球上的植物及其与其他生物、环境所形成的所有形式、层次、组合的多样化, 不仅与整个自然界的生物多样性相关, 也与人类的生产、生活有着直接或间接的联系, 直接影响人们的生活质量。

建立自然保护区是生物多样性保护的有效途径。广西九万山自然保护区始建于 1982 年, 于 2007 年获准晋升为国家级自然保护区, 是以保护涵养水源的天然常绿阔叶林及珍稀濒危野生动植物栖息地为主要目的的森林生态系统保护区。保护区的建立使得繁茂的森林和丰富的物种资源得到了较好的保护与发展。1989 年至 1990 年, 中国科学院植物研究所与柳州地区林业局进行了一次较大规模的植物资源考察, 发现该区域有维管植物 3000 种以上, 出版了《广西九万山植物资源考察报告》; 1989~1990 年, 贾渝等

研究了广西九万山蕨类植物区系, 探讨其对划分热带、亚热带分界线的意义; 2001 年至 2002 年, 广西植物研究所对融水境内的九万山保护区进行了考察, 结果发现其生物多样性丰富度较高; 2003 年, 广西林业厅保护站、广西植物研究所联合多个单位组成考察队, 全面系统地考察了九万山自然保护区, 再次证明了九万山生物多样性及其他资源的丰富性, 编著了《生物多样性关键地区——广西九万山自然保护区科学考察集》。多次的考察结果均表明, 九万山自然保护区是一座不可多得的天然种质资源宝库, 具有特殊的保护价值。在已有的调查研究中, 关于保护区内固定样地植物群落结构的数量特征及其植物演替的相关研究较少。本项目基于 2011 年 7 月至 8 月野外实地调查的数据, 为研究样地植物群落动态变化监测提供基础材料和数据, 通过统计群落的个体数量指标和综合数量指标, 分析不同群落的物种组成结构及其群落多样性与环境因子的相互关系, 并与国内相同气候区的自然保护区的植物多样性调查数据进行对比分析, 旨在进一步了解九万山自然保护区植物多样性的分布特征, 以利于植物资源的有效保护和管理, 为生态系统服务功能的发挥和区域经济发展做贡献。

2. 材料与方法

2.1. 自然概况

九万山国家级自然保护区位于广西壮族自治区北部, 地跨融水苗族自治县、环江毛南族自治县及罗城仫佬族自治县, 属于长江和珠江水系分水岭山脉的南缘部分, 东经 $108^{\circ}35'32''\sim 108^{\circ}48'49''$, 北纬 $25^{\circ}01'55''\sim 25^{\circ}19'54''$, 总面积 $25,212.8 \text{ hm}^2$ 。该保护区处在中亚热带季风气候区内, 其西北高东南低的特殊地势为植被提供了良好的水热条件, 年平均日照时数为 $1000\sim 1200 \text{ h}$, 年平均气温 $12.0^{\circ}\text{C}\sim 17.1^{\circ}\text{C}$, 年降水量 $1600\sim 2100 \text{ mm}$, 年蒸发量 $1384.7\sim 1466.0 \text{ mm}$ 。地貌类型属于侵蚀褶皱深 - 中等切割中山, 中山地貌特征显著, 北面山高谷深, 地形崎岖, 最高海拔 1693 m , 坡度多为 50° 上下; 南面山势稍为缓和, 坡度一般为 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$, 复杂的地貌很大程度影响着植被的生长分布。土壤类型有山地红壤、山地红黄壤、山地黄壤、山地黄棕壤和山地矮林土五大类。保护区内以中亚热带典型常绿阔叶林面积最大、分布最广, 较高海拔地带有中山常绿落叶阔叶混交林和中山针阔混交林, 山顶和山脊地段出现矮林。据报道, 九万山国家级自然保护区已知维管植物有 2754 种, 隶属 236 科 980 属。其中蕨类植物有 48 科 107 属 314 种, 裸子植物有 7 科 12 属 19 种, 被子植物有 181 科 861 属 2421 种, 国家重点保护植物有 22 种[1]。

2.2. 调查方法

在九万山国家级自然保护区管理局相关技术人员的帮助下, 根据调查研究的目的、保护区重要监测(保护)物种的分布、森林植物群落的主要类型、功能区的划分、自然环境的影响及人为干扰的程度, 经过反复的实地考察和技术论证, 筛选并确定了 24 个 $20 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ 的永久监测样地(其中核心区 10 个, 缓冲区和试验区各 7 个), 样地设置情况见图 1 和图 2。调查时把每个大样方又分为 10 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的乔木小样方, 个别地段地形复杂不宜设样地。利用地质罗盘仪、经纬仪及全球卫星定位仪(GPS)对每个样地的四个边角和中心点进行了定位并测定了坐标参数(经纬度及海拔高度), 测定了每个监测样地的坡度、坡向、植被覆盖率、郁闭度、土层厚度等基本参数。根据植物生态学野外调查方法, 对每个监测样地植物群落的物种多样性指数进行调查, 对样方内所有胸高直径(DBH) $\geq 5 \text{ cm}$ 的乔木进行每木检尺, 分别记录其编号、种名、胸径(DBH)、树高、冠幅等, 并挂金属(铝合金)牌做永久标志。灌木或草本植物的多样性调查则按照梅花形布点方法, 在大样方中划定 5 个大小为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ 或 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的小样方, 分别记录其编号、种名、盖度、高度和株数等, 对灌木挂铝合金牌做永久标志。

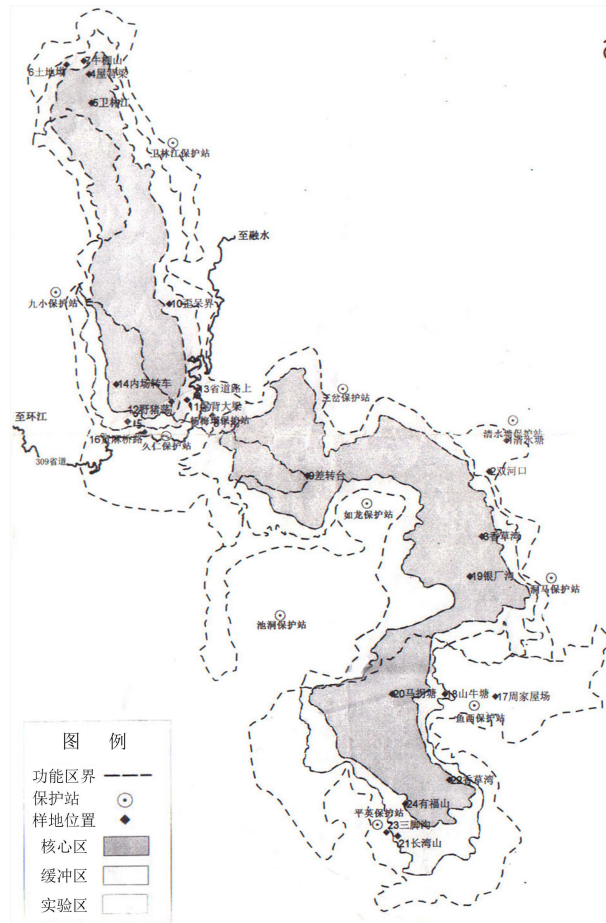


Figure 1. The location of the Jiawan Mountain National Nature Reserve in Guangxi and the survey plots
图 1. 广西九万山国家级自然保护区及调查样地位置图示

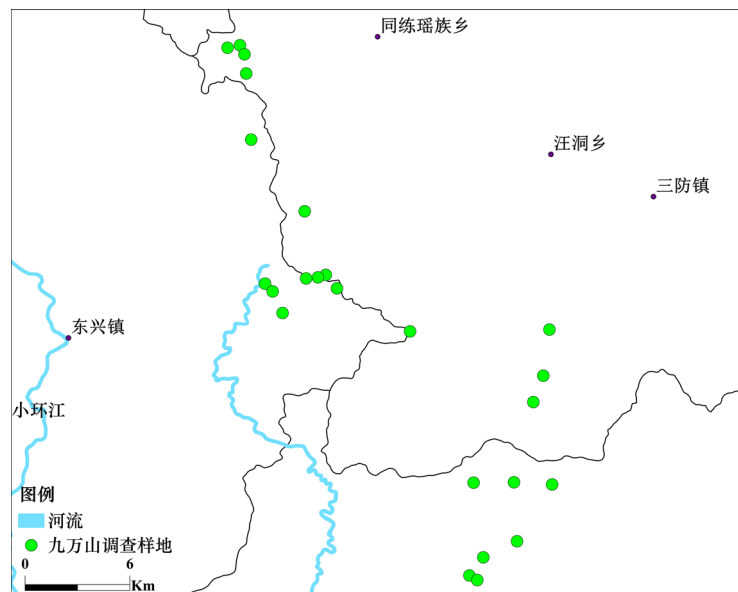


Figure 2. Distribution of plots for biodiversity survey in Guangxi Jiawan Mountain Nature Reserve
图 2. 广西九万山自然保护区生物多样性调查样地分布

2.3. 数据处理方法

2.3.1. 群落层片水平上的多样性量度

公式如下：

$$(\text{乔木层})\text{重要值 } IV = \frac{\text{相对多度} + \text{相对优势度} + \text{相对频度}}{3}$$

$$(\text{灌木层、草本层})\text{重要值 } IV = \frac{\text{相对多度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}}{3}$$

$$\text{Shannon-Wiener 指数 } H = -\sum_{i=1}^S Ai * \ln Ai$$

$$\text{Simpson 指数 } D = 1 - \sum_{i=1}^S Ai^2$$

$$\text{均匀度 } \text{PieLou 指数 } E = H / \ln S$$

其中， S 为丰富度，即种的数目； Ai 为第 i 种物种的相对重要值，即同一层片中第 i 种植物的重要值除以所有植物的重要值之和。

2.3.2. 群落总体水平多样性量度

本文的群落多样性是所有乔、灌、草各物种一起参与多样性的计算。采用给定加权参数法确定物种的相对重要值 Pi ：

$$Pi1 = W1 * Ai1, Pi2 = W2 * Ai2, Pi3 = W3 * Ai3$$

其中， $Ai1$ 、 $Ai2$ 、 $Ai3$ 分别为物种在各层片中的相对重要值， $Pi1$ 、 $Pi2$ 、 $Pi3$ 为给定加权参数后物种在各层片中的相对重要值， $W1$ 、 $W2$ 、 $W3$ 分别为给定的乔木层、灌木层、草本层物种权重系数，结合各片层在群落中的生态作用大小采用 0.5、0.25、0.25 [2]。若某一物种仅在乔木层出现，则其在群落中的重要值为 $Pi1$ ，若在的乔木层和灌木层均有出现，则其在群落中的相对重要值为 $Pi1 + Pi2$ 。群落 α 多样性指数计算公式同 2.3.1，其中 Ai 改为 Pi 。

2.3.3. 样地归类分组

坡向划分以北为起点，顺时针方向旋转，按照阴坡(315°~45°)，阳坡(135°~225°)，半阴坡(45°~90°和 270°~315°)，半阳坡(90°~135°和 225°~270°)，将 24 个样地中具有典型方位的 21 个样地分为半阳坡、半阴坡、阴坡三组，每组均 7 个样地。样地坡度分 3 个等级，40°~60°为险坡，30°~40°为陡坡，0°~30°为缓坡，同样将 24 个样地中具有典型坡度的 21 个样地分三组，每组均 7 个样地。

2.3.4. 统计分析

利用 Excel 2003 或 Origin 8.0 进行数据处理或曲线拟合，运用单因素方差分析比较均值差异。根据小概率原理，取 $\alpha = 0.05$ ， $\alpha = 0.01$ 为显著水平和极显著水平， $P < 0.05$ 为显著， $P < 0.01$ 为极显著。

3. 结果与分析

3.1. 植被群落结构特征

3.1.1. 样地基本情况

本研究的 24 个野外调查样地基本情况见表 1。

Table 1. The natural profile of the surveyed plots
表 1. 调查样地的自然概况

样地号	地点	地理坐标	海拔(m)	坡向	坡度	坡位
1	清水塘	108.19275°E 25.19378°N	533	北偏西 40°	40°~46°	中下坡
2	双河口	108.74627°E N25.05455°N	593	北偏西 40°	30°~50°	中下坡
3	香草湾 (银厂界)	108.78889°E 25.10150°N	1184	北偏西 15°	40°~45°	中上坡
4	屋背梁 (盘家)	108.78751°E 25.18146°N	1205	南偏西 25°~35° 北偏西 10°~20°	50°~65° 45°~55°	中坡
5	卫林江坳口	108.76923°E 25.10263°N	1174	北偏西 10°~30°	25°~30°	中坡
6	土地坳	108.75031°E 25.05220°N	1295	东偏北 10°~20°	30°~35°	中上坡
7	牛棚山	108.77081°E 25.07223°N	1165	北偏西 20°~40°	30°~35°	中坡
8	平沟	108.75341°E 25.06391°N	1231	西偏北 25°~35°	25°~40°	下坡
9	歪呆界	108.77919°E 25.14404°N	1313	东北	20°~25°	中上坡
10	屋背大梁	108.74843°E 25.10246°N	1415	北偏东	22°~36°	中上坡
11	野猪荡	108.64098°E 25.20513°N	1678	西北	1°~2°	山顶
12	省道路上	108.62802°E 25.32817°N	1250	东偏北 0°~10°	38°~48°	中坡
13	差转台	108.63125°E 25.31360°N	1327	东偏南 35°~45°	5°~20°	山脊
14	内场转车	108.78433°E 25.15765°N	1150	西偏南 0°~10°	35°~50°	中坡
15	内场转车(外)	108.63037°E 25.32352°N	1221	西偏南 30°~40°	35°~50°	中坡
16	黄麻桥路	108.64486°E 25.20115°N	1250	西偏南 0°~10°	42°~55°	中上坡
17	周家屋场	108.67802°E 25.20271°N	564	南偏西 35°	34°~36°	中坡
18	山牛塘	108.65000°E 25.19000°N	745	南偏东 40°~45°	40°~45°	中上坡
19	银厂沟	108.67228°E 25.20967°N	897	西偏北 30°~35°	30°~35°	中上坡
20	马拐塘	108.62166°E 25.32689°N	777	北偏东 30°~45°	25°~40°	中上坡
21	长湾山	108.66138°E 25.24250°N	768	东偏北 35°~45°	40°~45°	中上坡
22	香草湾 (红岗山)	108.71568°E 25.18054°N	1087	南偏西 30°~40°	10°~30°	山脊
23	三角沟	108.66821°E 25.20839°N	555	西偏北 5°~15°	40°~55°	中下坡
24	有福山	108.66210°E 25.20784°N	813	西偏北 30°~40°	20°~25°	中下坡

3.1.2. 群落结构特征

保护区样地森林群落由于受到人为干扰程度小, 植被十分茂密, 原生性较强, 物种组成以壳斗科 *Fagaceae*、樟科 *Lauraceae*、山茶科 *Theaceae*、杜鹃花科 *Ericaceae*、冬青科 *Aquifoliaceae* 等物种居多。群落成层结构明显, 分为乔木层、灌木层、草本层 3 层, 乔木层优势显著。乔木层林木高度多为 10~15 m, 部分个体高度可达 25 m 以上, 胸径在 5~116 cm 之间, 平均胸径 7.98~15.15 cm, 依据林木高度小于 10 米划为亚乔木层, 第 1 乔木层盖度变化范围 10%~80%, 亚乔木层盖度变化范围 20%~70%。样地范围(20 m × 50 m)内有乔木 12~42 种, 83~383 株, 平均 34 种, 201.50 株。对乔木层树种重要值进行分析, 重要值较大的树种是贵州桫欏叶树(*Clethra kaipoensis*)、海南杜鹃(*Rhododendron hainanense*)、东南野桐(*Mallotus lianus*)、星毛鸭脚木(*Schfflera minutistellata*)等, 重要值分别为 37.70、34.95、25.62、24.55 (见表 2, 表 3)。进一步分析重要值的离散性发现, 各物种重要值比较接近, 变异系数 0.78~2.14, 群落的乔木层第一优势种很少能占据绝对优势, 只有在 7 号和 9 号样地中的海南杜鹃和贵州桫欏叶树占据较大的优势。因此, 九万山原生性森林优势种不明显。

Table 2. Descriptive statistics of important values of tree layer in each plot
表 2. 各样地乔木层重要值的描述统计

样地号	乔木种数	总株数	重要值 <i>IV</i>				变异系数
			最小值	最大值	均值	标准差	
1	42	83	0.96	15.74	2.38	3.34	1.40
2	35	86	0.96	20.04	2.86	4.13	1.45
3	34	160	0.59	14.32	2.94	3.35	1.14
4	41	383	0.41	28.63	2.44	4.85	1.99
5	46	174	0.50	10.34	2.17	2.25	1.04
6	45	304	0.37	16.12	2.22	2.89	1.30
7	36	255	0.50	34.95	2.78	5.94	2.14
8	28	233	0.53	20.58	3.57	5.17	1.45
9	31	173	0.65	37.70	3.23	6.69	2.07
10	42	271	0.43	11.31	2.38	2.92	1.23
11	29	177	0.56	8.53	3.45	2.67	0.78
12	31	203	0.52	15.40	3.23	3.80	1.18
13	28	276	0.52	25.22	3.57	5.36	1.50
14	45	191	0.47	11.49	2.22	2.77	1.25
15	39	296	0.37	12.30	2.56	2.85	1.11
16	39	251	0.44	21.63	2.56	3.87	1.51
17	29	192	0.54	15.77	3.45	3.93	1.14
18	23	103	0.85	22.47	4.35	4.73	1.09
19	32	263	0.47	22.03	3.12	4.47	1.43
20	28	156	0.61	16.29	3.57	3.58	1.00
21	26	136	0.66	13.15	3.85	3.79	0.99
22	31	182	0.55	25.62	3.23	4.61	1.43
23	34	151	0.66	24.55	2.94	4.35	1.48
24	12	137	0.92	20.55	8.33	7.64	0.92

灌木层植株高 0.5~6 m 不等, 多为 2~5 m, 个别乔木幼树($DBH < 5$ cm)达到 10 m, 该层盖度变化范围 15%~80%。物种组成多由摆竹(*Indosasa shibataeoides*)、匙萼柏拉木 *Blastus cavaleriei*、杜茎山(*Maesa japonica*)、柃木属(*Eurya*)以及乔木的幼苗幼树等构成, 尤以乔木的幼苗幼树居多, 但其往往不占据优势。在调查范围(5 m × 5 m × 5)内有灌木 18~42 种, 36~2019 株, 平均 29.33 种, 378.33 株。该层与乔木层物种数量比值在 0.47~1.57 之间, 平均比值为 0.92, 灌木物种组成及盖度与乔木层有一定的关联性。对灌木层物种重要值的离散性进行分析, 变异系数在 0.72~1.96 之间, 各物种重要值十分接近, 仅少数物种重要值较大, 优势相对明显, 如摆竹和赤杨叶(*Alniphyllum fortunei*)。

草本层一般高度小于 1 m, 物种组成及盖度受上层影响较大, 物种有锦香草(*Phyllagathis cavaleriei*)、狗脊蕨(*Woodwardia japonica*)、赤车(*Pellionia radicans*)、光里白(*Diplopterygium laevissimum*)、沿阶草(*Ophiopogon bodinieri*)等等, 蕨类植物种类较多。盖度 0.5%~90%, 在乔木层或灌木层盖度较大的样方中, 草本层盖度多小于 5%。在样格范围(1 m × 1 m × 5)内, 有物种 2~23 种, 13~353 株, 平均 10.75 种, 98.75 株。对草本层物种重要值的离散性进行分析, 变异系数在 0.60~2.11 之间, 各物种重要值十分接近, 少数种优势明显, 如锦香草、光里白。

Table 3. Dominant species in different layers of plant communities in the survey plots

表 3. 调查样地植物群落不同层片的优势种

样地编号	群落物种总数	不同层片优势种(乔木层, 灌木层, 草本层)及其重要值 <i>I'</i>
1	72	红皮木姜子 <i>Litsea pedunculata</i> (15.74), 水团花 <i>Adina pilulifera</i> (12.33), 金毛狗蕨 <i>Cibotium barometz</i> (23.60)
2	65	毛锥 <i>Castanopsis fordii</i> (20.04), 赤杨叶 <i>Alniphyllum fortunei</i> (26.99), 锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (18.51)
3	71	小叶樟 <i>Cinnamomum camphora</i> (14.32), 摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i> (33.91), 锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (28.09)
4	69	海南杜鹃 <i>Rhododendron hainanense</i> (28.63), 匙萼柏拉木 <i>Blastus cavaleriei</i> (19.24), 锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (45.27)
5	76	米槠 <i>Castanopsis carlesii</i> (10.34), 摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i> (35.00), 赤车 <i>Pellionia radicans</i> (27.93)
6	73	海南杜鹃 <i>Rhododendron hainanense</i> (16.12), 锦绣杜鹃 <i>Rhododendron pulchrum</i> (8.00), 狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i> (44.61)
7	63	海南杜鹃 <i>Rhododendron hainanense</i> (34.95), 柃木属的一种 <i>Eurya</i> (12.41), 锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (29.75)
8	66	三角枫 <i>Liquidambar formosana</i> (20.58), 摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i> (15.13), 锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (25.95)
9	65	贵州槲叶树 <i>Clethra kaipoensis</i> (37.70), 柃木属的一种 <i>Eurya</i> (15.34), 锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (40.34)
10	53	贵州槲叶树 <i>Clethra kaipoensis</i> (11.31), 摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i> (38.67), sp1 (61.09)
11	49	五角枫 <i>Acer pictum</i> (8.53), 摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i> (39.84), 沿阶草 <i>Ophiopogon bodinieri</i> (37.11)
12	61	马尾树 <i>Rhoiptlea chiliantha</i> (15.40), 华南毛柃 <i>Eurya ciliate</i> (11.39), 锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (59.40)
13	42	贵州槲叶树 <i>Clethra kaipoensis</i> (25.22), 摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i> (21.82), 红盖鳞毛蕨 <i>Dryopteris erythrosora</i> (29.02)
14	80	小花红花荷 <i>Rhodoleia parvipetala</i> (11.49), 摆竹 <i>Indosasa shibataeoides</i> (28.44), 中华复叶耳蕨 <i>Arachniodes chinensis</i> (30.90)
15	57	甜槠 <i>Castanopsis eyrei</i> (12.30), 云和新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> (10.62), 光里白 <i>Diplopterygium laevissimum</i> (84.40)

Continued

16	64	海南杜鹃 <i>Rhododendron hainanense</i> (21.63), 匙萼柏拉木 <i>Blastus cavaleriei</i> (12.52), 锦香草 <i>Phyllagathis cavaleriei</i> (55.94)
17	57	星毛鸭脚木 <i>Schfflera minutistellata</i> (15.77), 小果冬青 <i>Ilex micrococca</i> (13.81), 乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i> (16.66)
18	51	米楮 <i>Castanopsis carlesii</i> (22.47), 云和新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> (10.08), 山姜 <i>Alpinia japonica</i> (18.10)
19	55	赤杨叶 <i>Alniphyllum fortune</i> (22.03), 杜茎山 <i>Maesa japonica</i> (12.27), 狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i> (24.14)
20	49	木姜子属的一种 <i>Litsea</i> (16.29), 同乔木层(12.43), 镰羽瘤足蕨 <i>Plagiogyria falcate</i> (26.17)
21	39	甜楮 <i>Castanopsis eyrei</i> (13.15), sp2 (15.65), 狗脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i> (30.88)
22	50	东南野桐 <i>Mallotus lianus</i> (25.62), 杜茎山 <i>Maesa japonica</i> (9.00), 仙茅 <i>Curculigo orchoides</i> (42.03)
23	58	星毛鸭脚木 <i>Schfflera minutistellata</i> (24.55), 同乔木层(13.85), 芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i> (18.90)
24	31	柃木属的一种 <i>Eurya</i> (20.55), 野柿 <i>Diospyros kaki var. Silvestris</i> (17.47), 深绿卷柏 <i>Selaginella doederleinii</i> (54.97)

3.2. 群落多样性特征

3.2.1. 群落 α 多样性

在调查样地中, 群落丰富度(S)范围 31~80, *Shannon-Wiener* 指数(H)范围 2.8861~3.8108, *Simpson* 指数(D)范围 0.9248~0.9673, 均匀度 *Pielou* 指数范围 0.7947~0.8980。群落分层明显, 各层 α 多样性指数见图 3~6。

从图 3~6 可以看出, 在调查样地中, 乔木层和灌木层的丰富度数值较接近, 总体上变化趋势相似, 草本层丰富度最低。*Shannon-Wiener* 指数规律性不明显, 总体而言, 乔木层和灌木层高于草本层。总体来说, *Simpson* 指数变化很小, 基本持平, 与乔木层和灌木层相比, 草本层 *Simpson* 指数变化则非常大。各样地总体及各层片的均匀度 *Pielou* 指数变化均较大。

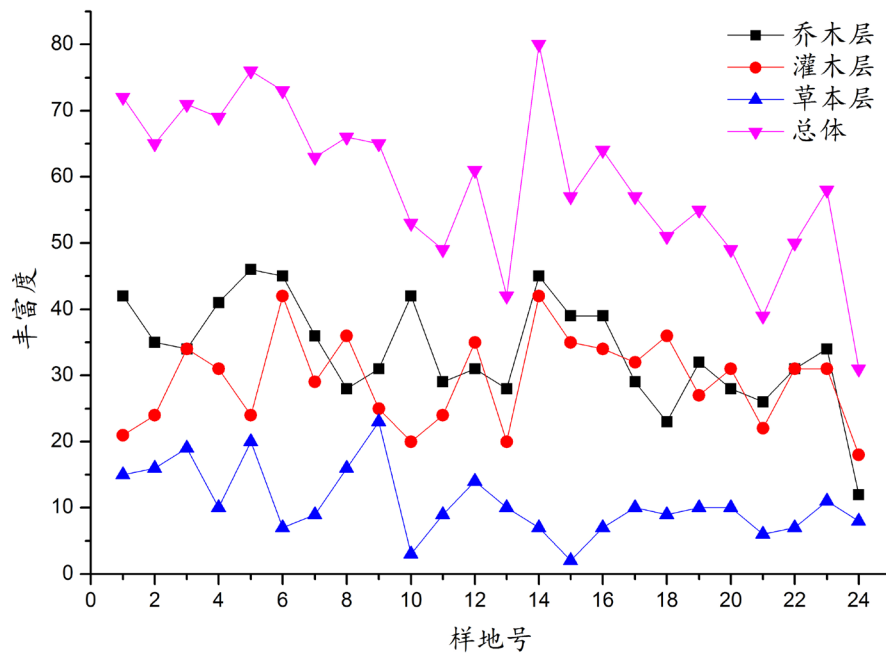


Figure 3. Comparison of species richness of surveyed plots

图 3. 调查样地物种丰富度的比较

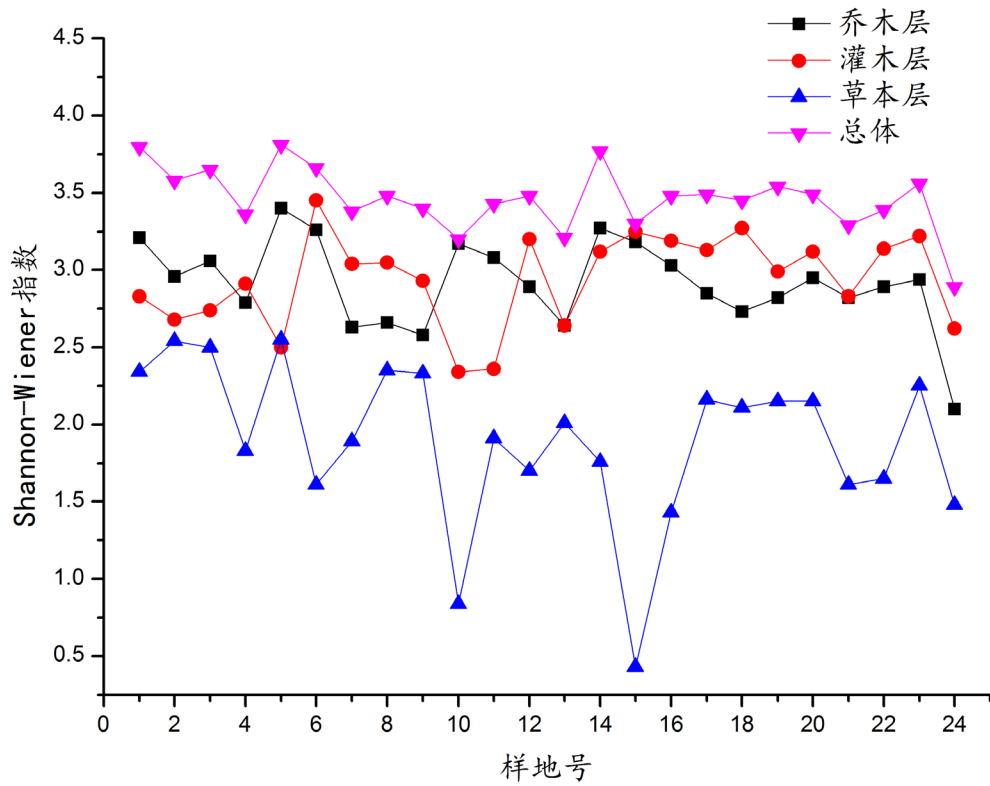


Figure 4. Comparison of *Shannon-Wiener* index of surveyed plots
 图 4. 调查样地 *Shannon-Wiener* 指数的比较

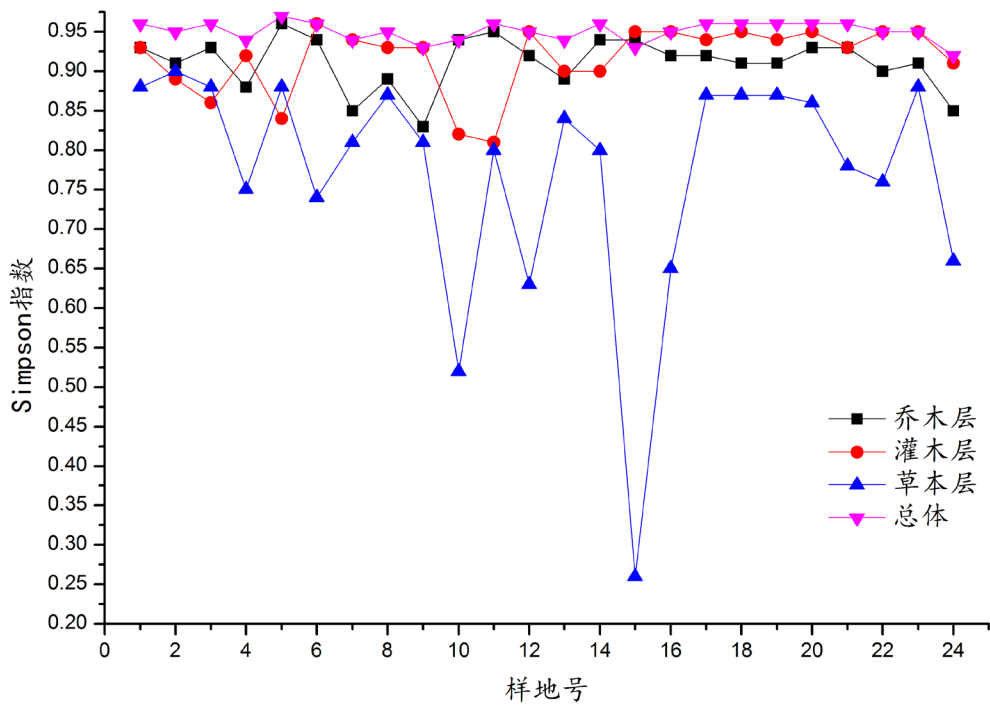


Figure 5. Comparison of *Simpson* index of surveyed plots
 图 5. 调查样地 *Simpson* 指数的比较

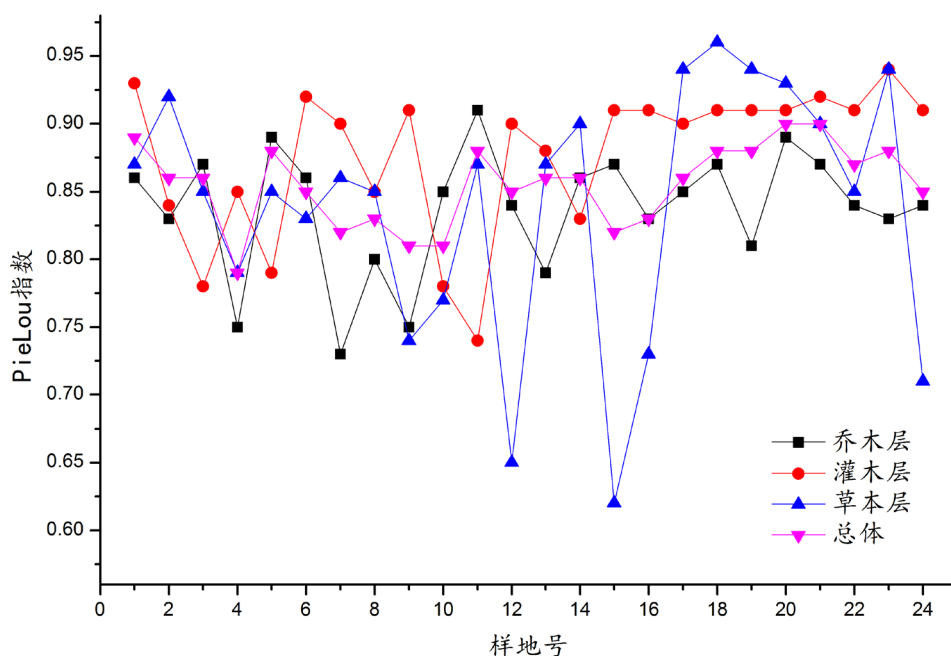


Figure 6. Comparison of *PieLou* index of evenness of survey plots
图 6. 调查样地均匀度 *PieLou* 指数的比较

对 24 个样地各层片的 α 多样性指数进行均值差异分析, 结果表明: 各层片的丰富度的均值差异极显著, $P \ll 0.01$, 表现为乔木层($S = 34$) > 灌木层($S = 29$) > 草本层($S = 11$)。

各层片的 *Shannon-Wiener* 指数和 *Simpson* 指数的均值差异都达到极显著水平, $P \ll 0.01$, 表现为灌木层($H = 2.941$; $E = 0.918$) > 乔木层($H = 2.912$; $E = 0.912$) > 草本层($H = 1.900$; $E = 0.773$)。

各层片的均匀度 *PieLou* 指数均值差异不显著。

3.2.2. 实验区、缓冲区、核心区的多样性比较

核心区 4 号、13 号、24 号样地情况较为特别, 群落特征比较特异, 13 号样地有明显人为干扰痕迹, 多样性指数($H = 3.210$)和乔木胸高断面积总和(值为 1.7624 m^2)均较低。4 号和 24 号样地无明显人为干扰迹象, 木材蓄积高, 名列前 2 位。4 号样地有乔木 41 种, 383 株, 胸高断面积总和 3.8027 平方米, 群落出现藤本绞杀现象, 种间竞争比较激烈; 24 号样地有乔木 12 种, 137 株, 胸高断面积总和 3.4089 平方米, 有较大的倒木, 已枯死, 林密度较小。二者的显著差异在一定程度上反映核心区存在不同的群落演替阶段。

基于 4 号、13 号、24 号样地的特殊性, 不考虑加入核心组。将剩下的 21 个样地按实际地域划分均分为核心组、缓冲组、实验组三组, 并进行 α 多样性指数均值比较, 结果表明: *Shannon-Wiener* 指数差异达到显著水平($P = 0.037$), 核心组(3.583) > 实验组(3.553) > 缓冲组(3.382); *Simpson* 指数差异达到显著水平($P = 0.011$), 核心组(0.960) > 实验组(0.954) > 缓冲组(0.944); 丰富度和均匀度 *PieLou* 指数没有显著差异。总体来看, 由于受到人为干扰少, 核心组多样性程度相对较高, 优势种较为突出; 而受到一定人为干扰的实验组多样性也比较高, 符合适度干扰可提高物种多样性的中等干扰学说。

3.2.3. 群落多样性与海拔的相关性

九万山国家级自然保护区地形相对高差比较悬殊, 随着海拔的变化, 乔木层优势种发生明显改变。在低海拔样地以第一优势出现多次的种有: 星毛鸭脚木和米槠, 在较高海拔以第一优势出现多次的种有:

海南杜鹃和贵州栲叶树。仅在最高海拔的 11 号样地出现小叶罗汉松(*Podocarpus wangii*), 重要值为 3.33, 优势不明显。

在本次调查设置的样地中, 群落总体的丰富度(S)、Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)与海拔变化并无显著关系(见图 7), 乔木层丰富度指数(S)、Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)和均匀度 PieLou 指数(E)与海拔无明显关系(见图 8)。但草本和灌木的均匀度与海拔变化存在着显著关系, 在一定范围内, 随着海拔的升高, 草本、灌木以及群落总体的均匀度呈下降趋势, 具体情况见图 9, 草本层 $R^2 = 0.210$, $P = 0.032$; 图 10, 灌木层 $R^2 = 0.310$, $P = 0.008$; 图 11, 总体 $R^2 = 0.231$, $P = 0.024$ 。

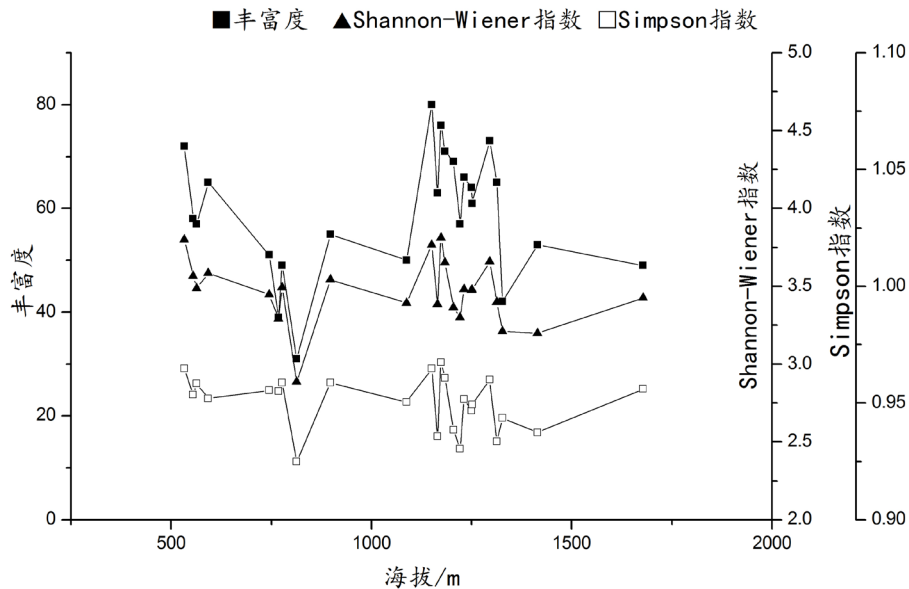


Figure 7. Changes in the overall diversity index of plant communities in the survey plots with altitude

图 7. 调查样地植物群落总体多样性指数随海拔的变化

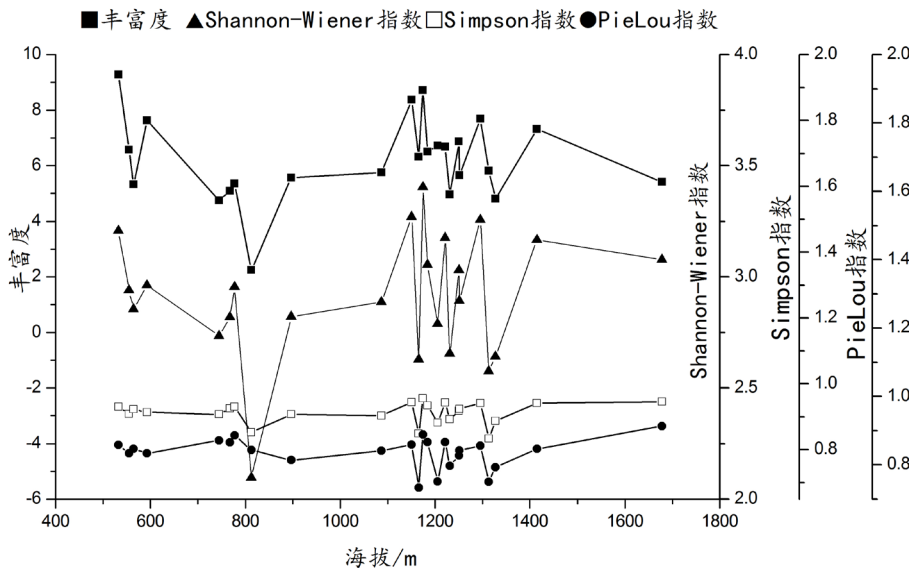


Figure 8. Variations of the arbor tree diversity index of the survey plots with altitude

图 8. 调查样地乔木多样性指数随海拔的变化

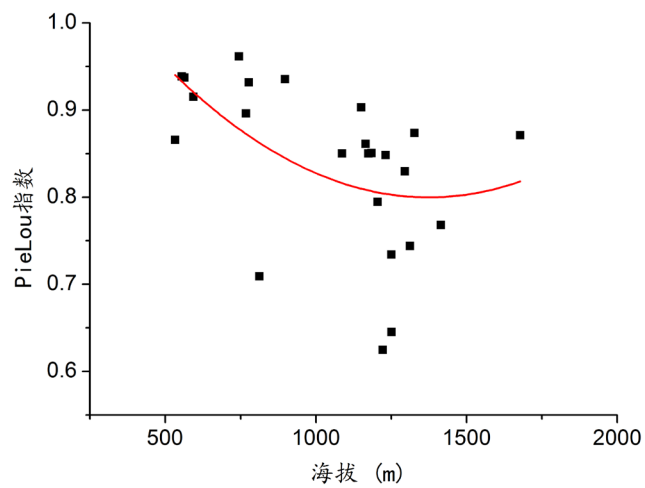


Figure 9. The relationship between herb evenness and altitude in the survey plots
图 9. 调查样地草本均匀度与海拔的关系

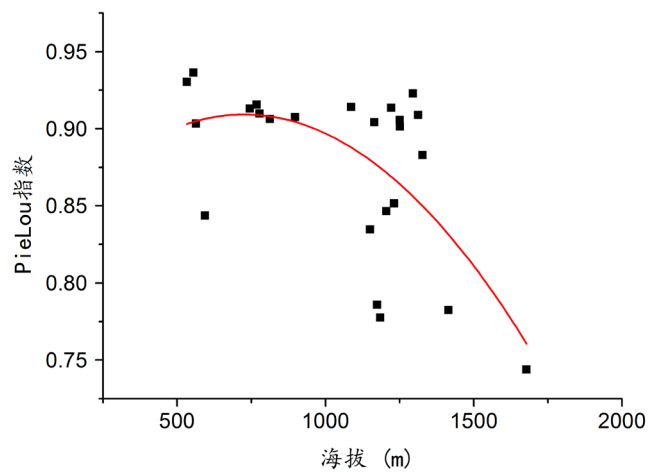


Figure 10. The relationship between the evenness of shrubs on the survey plot and altitude
图 10. 调查样地灌木均匀度与海拔的关系

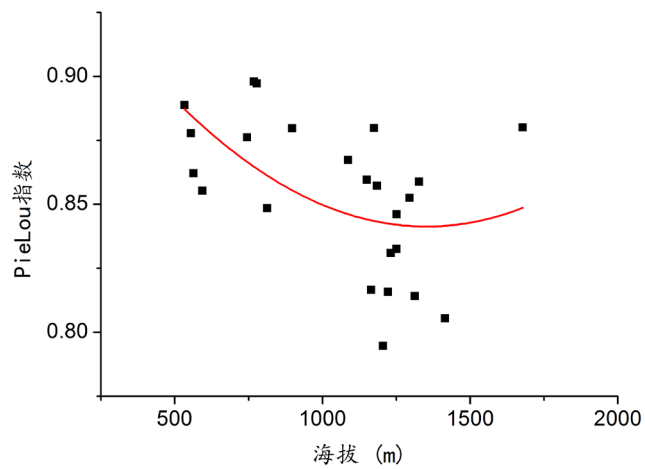


Figure 11. The relationship between the overall evenness of the community in the survey sample plot and altitude
图 11. 调查样地群落总体均匀度与海拔的关系

3.2.4. 植物多样性与坡向、坡度的相关性

进行半阳坡、半阴坡和阴坡植物多样性比较发现：乔木层、草本层以及群落总体多样性与坡向无显著相关性；灌木层丰富度指数(S)与坡向相关性较为显著($P = 0.037$)，表现为半阳坡 > 半阴坡 > 阴坡；灌木层 *Shannon-Wiener* 指数(H)与坡向相关性极显著($P = 0.002$)，表现为半阳坡 > 半阴坡 > 阴坡；灌木层 *Simpson* 指数(D)、均匀度 *Pielou* 指数(E)与坡向相关性显著($P = 0.001$)，均表现为半阴坡 > 半阳坡 > 阴坡，见图 12。

进行缓坡、陡坡和险坡植物多样性比较发现：乔木层、草本层和群落总体多样性指数以及灌木均匀度 *Pielou* 指数(E)与坡度的相关性不显著；灌木的丰富度指数(S)、*Shannon-Wiener* 指数(H)、*Simpson* 指数(D)与坡度的相关性显著($P_M = 0.002$; $P_H = 0.008$; $P_D = 0.041$)，均匀度 *Pielou* 指数与坡度相关性不明显($P_E = 0.278$)，均表现为陡坡 > 险坡 > 缓坡，见图 13。

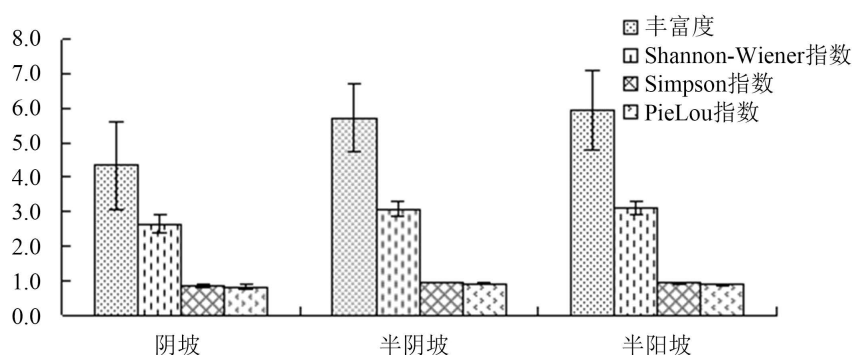


Figure 12. Comparison of shrub diversity in plots with different slope directions
图 12. 不同坡向样地的灌木多样性的比较

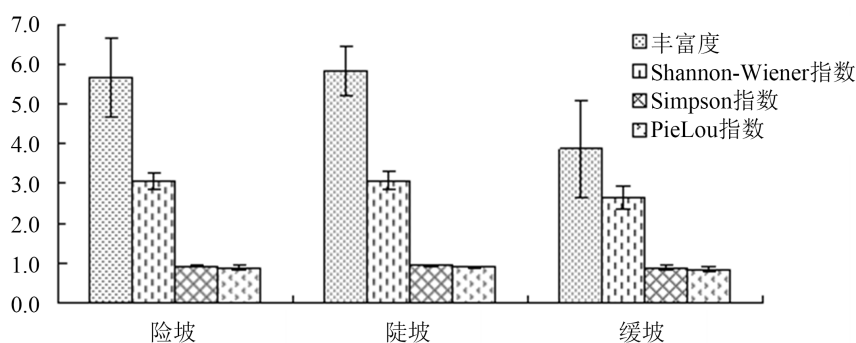


Figure 13. Comparison of shrub diversity in plots with different slopes
图 13. 不同坡度样地的灌木多样性的比较

4. 讨论

4.1. 植物多样性情况

根据乔木层、灌木层、草本层对群落的贡献不同采用给定加权参数法，得到的总体 α 多样性指数与无加权参数的总体 α 多样性指数两组数据无显著差异($P \gg 0.05$)，但使用加权参数法得到的总体 α 多样性指数范围较大，相比幅度变化 ± 0.06 ，更容易反映样地群落多样性之间的功能差异，并强化了对比。

调查结果表明，广西九万山国家级自然保护区具有较高的物种多样性，特别是乔木的物种多样性；相比同属中亚热带气候区的国内其它几个自然保护区[3] [4] [5] [6] (见表 4)，九万山国家级自然保护区植

物(物种)多样性的最大特点是不同地域间的多样性变化幅度小,在一定程度上反映了九万山自然环境的优越性和良好的生态环境;在海拔高度与植物分布的关系上,表现为不同海拔出现不同的优势种,植物群落的组成和结构也有一定的差异;由于样地间存在复杂地形条件的综合影响和人为干扰等各种因素,削弱了群落的多样性指数随海拔高度变化的规律性。相对来说,海拔 1100~1300 m 之间的植物多样性比较高。

Table 4. Comparison of woody plant diversity in national nature reserves in the mid-subtropical climate zone

表 4. 中亚热带气候区的国家级自然保护区木本植物多样性比较

保护区	广西九万山	广西木论	贵州茂兰	广东南岭	江西武夷山
地理坐标	108°35'~108°48'E 25°01'~25°19'N	107°54'~108°05'E 25°07'~25°12'N	107°52'~108°05'E 25°09'~25°20'N	112°30'~113°04'E 24°37'~24°57'N	117°38'~117°55'E 27°48'~28°00'N
样地海拔	500~1700 m	414~638 m	791~880 m	400~500 m	500~2000 m
样地大小	20 m × 50 m	20 m × 20 m	20 m × 20 m	20 m × 20 m	20 m × 30 m
样地数	24	50	8	6	14
DBH/树高	DBH ≥ 5 cm	DBH ≥ 1 cm	树高 ≥ 3 m	DBH ≥ 3 cm	无
种数	12~46	1~31	20~42	11~27	21~75
Shannon-Wiener 指数	2.10~3.40	0.89~4.63	2.70~3.90	2.78~4.38	1.60~3.57
Simpson 指数	0.83~0.96	0.60~1.00	0.95~1.00	——	——
均匀度	0.73~0.91	0.69~0.99	——	0.77~0.94	0.51~0.87

备注:采用参考文献[2][3][4][5]的相关数据,由于广东南岭 Simpson 指数计算公式不同,不选用;贵州茂兰和江西武夷山分别缺均匀度指数和 Simpson 指数,数据为空。

4.2. 环境因子与植物多样性

植物多样性与众多因素相关,其中环境因子对植物(物种)多样性有着非常重要的影响[7]-[17]。随着海拔的升高,植物自然生长环境变得更加恶劣,比如土层厚度变薄且分布不均,土壤贫瘠,养分缺乏,风害、寒害比较严重,等等。从图 7~11 的多样性指数变化来看,乔木的物种多样性随海拔升高无明显变化(具体原因有待进一步研究),灌木、草本均匀度 *Pielou* 指数随海拔升高呈下降趋势[18][19]。不同环境因子对不同生长型植物的影响作用是有差异的,也就是说乔木、灌木、草本的主要环境限制因子不同[20][21][22][23][24]。由于多种生态因子的综合影响,海拔对乔木多样性的影响作用在一定程度被削弱,或者由于本调查区域的海拔高度相对来说不是太高,不同样地的海拔高度差异较小,不足以使乔木的物种多样性呈现明显的规律性变化。另外,乔木有着较强的生活力,在群落占据绝对的优势地位,适应海拔等环境因子变化的能力较强,因而随着海拔升高生长状况基本不变,物种多样性变化不明显。海拔高度变化对灌木、草本的影响表现明显,其与草本、灌木均匀度的负相关关系分别达到显著和极显著水平,这可能与土层厚度和养分条件变化有较大关系[25][26]。以上结果,与张玲等人对黑龙江胜山保护区调查的结果,即乔木多样性与海拔呈正相关,灌木、草本与海拔无明显关系不一致[27]。

坡向影响群落的光和水热条件,对灌木的影响很明显[28],图 12 至图 13 中半阳坡的灌木丰富度指数、*Shannon-Wiener* 指数明显比阴坡高,物种丰富,半阴坡介于二者中间;在分布均匀程度方面,阴坡的灌木 *Simpson* 指数和均匀度 *Pielou* 指数最低,也就是阴坡灌木分布最不均匀,优势种明显。因为不同的植物适应于一定的坡向,阴坡光和水热条件较差,对灌木生长有一定的限制,多样性低,利于耐阴性的物种形成优势。半阳坡和半阴坡接受的光照和热量相对阴坡多,有利于植物生长,因此多样性高,群落竞

争激烈因而优势种不明显。

坡度通过影响土壤的厚度和理化性质等间接影响植物的生长,对灌木多样性的影响比较明显。大坡度,土层薄,营养物质易被淋失,水分少,有机质积累少,小坡度,土层较厚,水分多,有机质易于积累,理论上小坡度适于植物生长,灌木多样性较高。图 13 陡坡与险坡比较,陡坡坡度相对较小,灌木多样性指数相对较高,与理论相符。缓坡坡度最小,而灌木多样性指数却最低,由于坡度大小与人为干扰强弱是负相关的,缓坡人为干扰大,存在偷砍盗挖现象几率大,植被易受到破坏,以致灌木多样性指数降低[29]。虽然陡坡和险坡坡度大,植被自然生境较差,但受到较少人为干扰,多样性仍然是比较高的。

不同坡度样地的植物多样性差异反映人为干扰降低了植物多样性[30],但是存在适度干扰,会使多样性提高,生态系统的适应能力、抗干扰能力会增强,生产力也可能比较高[31]。保护区核心区人迹罕至,样地间多样性指数差异较大,多样性指数均值较高,一定程度反映了自然环境的异质性[32][33]。实验区与人居环境邻近,样地间多样性指数差异较小,且多样性均值与核心区很相近,较高,不排除是人为干扰的结果[34][35][36]。

5. 小结

广西九万山国家级自然保护区固定样地的植物多样性较高,对保护区植物多样性分布具有代表性,此次样地调查木本植物 1000 多种,草本植物 700 多种,国家重点保护植物有 10 多种,具有重要的保护和研究价值。该保护区海拔对灌木和草本的影响较大,海拔越高,均匀度越小。由于海拔高度差异不大或者海拔的影响作用被其他因子削弱等原因,乔木多样性随海拔变化的规律性不明显。坡向与坡度显著影响灌木多样性,向阳坡面灌木多样性指数最高,背阴坡面灌木均匀度最小,中等坡度的灌木多样性最高,小坡度存在人为干扰,灌木多样性最低。因为保护区成立时间较晚,上世纪 50 年代到 70 年代是林木采育场地,保护区内居住村落较多,人工杉木林、楠竹林、作物区较多,森林砍伐痕迹明显,保护区成立后,保护措施有力,森林恢复较好,群落到树群、树丛明显增多,受 2008 年冰雪灾害的影响,保护区内枯立木、断尾木、倒立木数量较多。

保护区植物多样性(物种多样性)的调查,反映了植物物种存在和人类保护的状况。同时,调查结果显示的多样性变化,可以反映环境因子的影响及人类干扰的综合作用,研究环境因子与植物多样性的关系,可以更好地指导保护区的资源管理和生物多样性保护工作,为协调自然保护区与周边社区的关系,充分发挥森林生态系统的服务功能,促进区域经济可持续发展提供理论支持。

6. 建议

1) 有必要继续开展九万山国家级自然保护区生物多样性监测固定样地建设的后续研究

由于经费和时间的限制,本项目仅进行 24 个样地的植物(物种多样性)调查,由于调查时大部分植物无花无果,有些植物只能鉴定到科或属,样地的选点,虽然考虑了保护区重要保护物种的分布、森林植物群落的类型、生态系统特征、人为干扰影响,野外作业可操作性等诸多因素,具有一定的地理代表性,但是物种的代表性可能还不够。调查时,虽然记录了每个样地的原始资料和相关数据,且每个样地均埋设了水泥标桩进行标识,并给每株乔木和按梅花形设置的 5 个小样格的灌木挂牌标记,但十年时间已经过去,至今仍未对固定样地植物的生长和数量动态进行跟踪调查或植物群落演替研究,希望保护区和相关专家继续开展后续研究,使“24 个固定监测样地”的植物生长情况、物种变化、群落演替材料更加翔实,以便更准确地预测保护区植物群落的变化,采取更有针对性的保护措施。

2) 生物多样性保护和自然保护区管理,应当考虑社区群众的利益

当下,我国正在积极推行林权制度改革,在林权所有制下放到户的今天,由于历史的原因,保护区

与其周边的居民可能存在一些山界纠纷。由于经济利益的驱使,有的群众认为,自然保护区的成立,使他们的部分山头被占了,经济利益受到一定的损害。不少居民只顾眼前,不看长远利益的事累见不鲜,珍稀树种如南方红豆杉(*Taxus chinensis*)、珍珠罗汉松(*Podocarpus brevifolius*)、红花荷木(*Rhodoleia championii*)、润楠(*Machilus pingii*)、香楠(*Aidia canthioides*)、金丝楠(*Phoebe sheareri*)、紫檀(*Pterocarpus indicus*)、麻栎(*Quercus acutissima*)等惨遭偷盗和砍伐。事实上,自然保护区的成立和建设,并不是当地群众贫困的根本原因,但是,村民的脱贫致富和自然保护区生物多样性及生态保护是目前保护区工作的“两难问题”和迫切需要解决的问题,如何协调自然保护区与社区群众的关系,使社区群众能够支持并自觉参与自然保护区的有关工作,从而达到双赢的目的,无疑是当地政府和自然保护区管理部门必须认真思考的现实问题。在严格保护的前提下,保护区能否利用优越的自然条件和优质环境资源,通过各种渠道引进种子基金,给群众提供种源,组织开展实用技术培训,在其居住地周边进行林下种养,帮助当地群众脱贫致富?群众生活富裕了,再加上其他的惠民措施,自然保护区的资源环境保护工作一定会更好,人与自然更加和谐相处。

3) 应当根据生态建设及主体功能区的划分进行科学的管理

广西九万山国家级自然保护区是重要的水源林区,其周边农村的生活污染和农业污染也是普遍现象,因此,有必要在保护区周边的居住区建立垃圾处理池,尽量减少或杜绝使用除草剂、杀虫剂及其他化学药剂,适度控制速生桉的种植规模及种植面积,避免水源污染及造成其他危害。

基金项目

九万山国家级自然保护区生物多样性监测固定样地(一期)建设项目资助;广西高校重点实验室资助项目(桂教科研[2010]6号)。桂西北地方资源保护与利用工程中心资助项目(桂教科研[2012]9号);广西高等学校特色课程及专业一体化建设基金资助项目(桂教高教[2011]102号);广西教育科学“十二五”规划2013年度立项 B 类课题——服务广西区域经济发展的民族地区高校科技创新平台建设探索与实践(2013B026)。

参考文献

- [1] 宁世江,苏勇,谭学锋.生物多样性关键地区——广西九万山自然保护区科学考察集[M].北京:科学出版社,2010:21-16,145-146.
- [2] 张峰,张金屯,上官铁梁.历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究[J].植物生态学报,2002,26(z1):46-51.
- [3] 彭晚霞,宋同清,曾馥平,王克林,刘璐.喀斯特常绿落叶阔叶混交林植被的空间异质性[J].西北植物学报,2011,31(4):815-822.
- [4] 侯满福,沈庆庚,覃海宁.贵州茂兰喀斯特原生性森林群落物种多样性特征[J].广西师范大学学报(自然科学版),2011,29(1):60-65.
- [5] 刘敏.南岭国家级自然保护区低山常绿阔叶林植物群落分析[J].广东林业科技,2010,26(3):65-70.
- [6] 矫恒盛,钟志宇,程林,方毅,程松林.江西武夷山自然保护区森林群落木本植物多样性垂直规律研究[J].江西林业科技,2009(1):6-10.
- [7] 岳明,张林静,党高弟,辜天琪.佛坪自然保护区植物群落物种多样性与海拔梯度的关系[J].地理科学,2002,22(3),349-354.
- [8] 陈廷贵,张金屯.山西关帝山神尾沟植物群落物种多样性与环境关系的研究[J].应用与环境生物学报,2000,6(5):406-411.
- [9] 唐志尧,方精云,张玲.秦岭太白山木本植物物种多样性的梯度格局及环境解释[J].生物多样性,2004,12(1):115-122.
- [10] 贾渝,吴鹏程,罗健馨.广西九万山藓类植物区系分析及其对划分热带、亚热带分界线的意义[J].植物分类学报,

- 1995, 33(5): 461-468, 33(6): 556-571.
- [11] 杨华斌, 韦小丽, 党伟. 黔中喀斯特植被不同演替阶段群落物种组成及多样性[J]. 山地农业生物学报, 2009, 28(3): 203-207.
- [12] 唐志尧, 方精云. 植物物种多样性的垂直分布格局[J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 20-28.
- [13] 侯满福, 蒋忠诚. 茂兰卡斯特原生林不同地球化学环境的植物物种多样性[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 572-576.
- [14] 徐远杰, 陈亚宁, 李卫红, 付爱红, 马晓东, 桂东伟, 等. 伊犁河谷山地植物群落物种多样性分布格局及环境解释[J]. 植物生态学报, 2010, 34(10): 1142-1154.
- [15] 张荣京, 秦新生, 邢福武. 海南昌江县石灰岩地区轮叶戟群落特征研究[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2005, 44(z1): 283-290.
- [16] 王震洪, 段昌群, 杨建松. 半湿润常绿阔叶林次生演替阶段植物多样性和群落结构特征[J]. 应用生态学报, 2006, 17(9): 1583-1587.
- [17] 白帆, 桑卫国, 刘瑞刚, 陈灵芝, 王昆. 保护区对生物多样性的长期保护效果: 长白山自然保护区北坡森林植物多样性 43 年变化分析[J]. 中国科学 C 辑, 2008, 38(6): 573-582.
- [18] 龙茹, 尚策, 曲上, 张志翔. 大叶杨群落植物性系统多样性的分布格局[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(5): 34-41.
- [19] 雷静品, 肖文发, 黄志霖, 刘建锋, 王怀清, 李良俊. 带状改造对柏木人工林林下植被多样性和环境的影响[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(3): 381-387.
- [20] 易俗, 黄忠良, 欧阳学军. 鼎湖山生物圈保护区层间植物物种多样性的研究[J]. 生物多样性, 2001, 9(1): 56-61.
- [21] 张佳, 李生字, 靳正忠, 雷加强. 防护林下草本植物层片物种多样性与环境因子的关系[J]. 干旱区研究, 2011, 28(1): 118-125.
- [22] 胡楠, 范玉龙, 丁圣彦, 卢训令. 伏牛山自然保护区森林生态系统乔木植物功能型分类[J]. 植物生态学报, 2008, 32(5): 1104-1115.
- [23] 范玉龙, 胡楠, 丁圣彦, 卢训令. 伏牛山自然保护区森林生态系统草本植物功能群的分类[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3092-3101.
- [24] 和太平. 广西十万大山国家级自然保护区植物区系研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(7): 75-84, 89.
- [25] 杨小波, 张桃林, 吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 190-196.
- [26] 李连方, 王培, 王警龙. 红松洼自然保护区植物多样性的研究[J]. 草地学报, 2000, 8(2): 88-96
- [27] 张玲, 张东来, 王承义, 袁晓颖. 黑龙江省胜山国家级自然保护区植物群落物种多样性与环境因子关系[J]. 辽宁林业科技, 2010(6): 16-18, 62.
- [28] 张勇, 胡海波, 黄进, 马力, 王永昌. 连云港云台山规划造林区植物多样性及其与环境的关系[J]. 亚热带植物科学, 2009, 38(1): 41-45.
- [29] 张世鑫, 刘世彪, 张代贵. 湖南小溪国家级自然保护区植物多样性研究[J]. 生命科学研究, 2009, 13(2): 122-127.
- [30] 曹云生, 杨新兵, 张伟, 宋庆丰, 张建华. 冀北山区森林群落草本多样性及其与地形关系研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(12): 2840-2844.
- [31] 欧芷阳, 杨小波, 吴庆书. 尖峰岭自然保护区扩大区域植物多样性研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(4): 437-444.
- [32] 高俊峰, 马克明, 冯宗炜. 景观组成、结构和梯度格局对植物多样性的影响[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1087-1094.
- [33] 赵军, 陈建伟, 吕刚. 老秃顶子自然保护区森林植被类型的植物多样性[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2009, 28(5): 849-852.
- [34] 周东, 刘国彬. 林窗对子午岭天然辽东栎群落林下植物多样性的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(22): 91-98.
- [35] 区余端, 王华南, 张璐, 苏志尧. 南岭国家级自然保护区林下植物分布的地形相关性[J]. 武汉植物学研究, 2009, 27(1): 41-46.
- [36] 王翠红, 张金屯. 中国部分自然保护区物种多样性与环境因子的关系[J]. 西北植物学报, 2004, 24(8): 1468-1471.