

## 广西生物多样性保护优先区筛选

刘 端<sup>1,2,①</sup>, 赵莉娜<sup>3,4,①</sup>, 鲁丽敏<sup>3,②</sup>, 单章建<sup>3,4</sup>, 陈之端<sup>3</sup>, 张 强<sup>1,2,②</sup>, 路安民<sup>3</sup>

(1. 广西师范大学生命科学学院, 广西 桂林 541006;

2. 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所 广西喀斯特植物保育与恢复生态学重点实验室, 广西 桂林 541006;

3. 中国科学院植物研究所 系统与进化植物学国家重点实验室, 北京 100093; 4. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:**以广西 111 个县级行政区为基本单元,对广西维管植物的科属组成进行分析,并基于物种丰富度、濒危物种丰富度、特有物种丰富度和系统发生多样性 4 个多样性指标对广西维管植物多样性分布格局进行分析。此外,还通过主成分分析将上述多样性指标整合为保护指数,根据保护指数筛选广西生物多样性保护优先区,并对筛选出的保护优先区与现有自然保护区的保护效率进行比较。结果表明:广西维管植物种类丰富,共 269 科 1 865 属 8 609 种,包含濒危植物 173 科 619 属 1 814 种、特有植物 108 科 321 属 984 种。广西维管植物的物种丰富度与系统发生多样性的分布格局基本一致,主要位于广西盆地的边缘和内部山脉,如桂北的九万大山、桂东北的南岭山区、桂西的石灰岩山区、桂西南的大青山和桂中偏东北的大瑶山;濒危物种丰富度和特有物种丰富度的分布格局大体相同,主要位于桂西的石灰岩山区以及桂西南的大青山和十万大山。根据广西各县级行政区的维管植物保护指数筛选出 15 个保护优先区,其中龙州县和那坡县的保护指数分别为 6.64 和 6.18,明显高于其他县级行政区。筛选出的保护优先区集中分布于桂东北和桂西南,累计面积占广西总面积的 18.10%,并且,这些保护优先区与现有自然保护区具有较高的空间对应关系,共包含 30 个现有自然保护区。但是,与筛选出的保护优先区相比,现有自然保护区存在保护等级低和保护面积小的问题,保护效率较低。综上所述,建议将桂东北和桂西南的邻近自然保护区合并,分别建立桂东南南岭国家公园和桂西南石灰岩国家公园。

**关键词:** 广西; 维管植物; 保护优先区; 物种丰富度; 系统发生多样性; 保护指数

中图分类号: X36; S759.93 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2022)02-0001-09

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2022.02.01

**Screening of conservation priority areas of biodiversity in Guangxi** LIU Duan<sup>1,2,①</sup>, ZHAO Lina<sup>3,4,①</sup>, LU Limin<sup>3,②</sup>, SHAN Zhangjian<sup>3,4</sup>, CHEN Zhiduan<sup>3</sup>, ZHANG Qiang<sup>1,2,②</sup>, LU Anmin<sup>3</sup> (1. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541006, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Plant Conservation and Restoration Ecology in Karst Terrain, Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China; 3. State Key Laboratory of Systematic and Evolutionary Botany, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; 4. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2022, 31(2): 1-9

**Abstract:** Taking 111 county administrative regions in Guangxi as the basic units, family and genus compositions of vascular plants in Guangxi were analyzed, and the diversity distribution patterns of vascular plants in Guangxi were analyzed based on four diversity indexes namely species richness, threatened species richness, endemic species richness, and phylogenetic diversity. In addition, four

收稿日期: 2021-11-04

基金项目: 中国科学院 B 类战略先导项目(XDB31000000); 国家自然科学基金资助项目(31560114; 31900191)

作者简介: 刘 端(1997—),女,甘肃徽县人,硕士研究生,研究方向为生物多样性保护。

赵莉娜(1985—),女,江西靖安人,博士研究生,研究方向为生物多样性保护。

① 共同第一作者

② 通信作者 E-mail: liminlu@ibcas.ac.cn; qiangzhang04@126.com

引用格式: 刘 端, 赵莉娜, 鲁丽敏, 等. 广西生物多样性保护优先区筛选[J]. 植物资源与环境学报, 2022, 31(2): 1-9.

above-mentioned diversity indexes were integrated into protection index by principal component analysis, biodiversity conservation priority areas in Guangxi were screened based on protection index, and the protection efficiencies of the screened conservation priority areas and existing nature reserves were compared. The results show that the species of vascular plants in Guangxi are abundant, and there are 8 609 species in 1 865 genera of 269 families in total, containing 1 814 species of threatened plants in 619 genera of 173 families and 984 species of endemic plants in 321 genera of 108 families. The distribution patterns of species richness and phylogenetic diversity of vascular plants in Guangxi are basically consistent, which are mainly located in the mountains of marginal and internal areas of Guangxi basin, such as Jiuwandashan Mountain in northern Guangxi, Nanling mountains in northeastern Guangxi, limestone mountains in western Guangxi, Daqingshan Mountain in southwestern Guangxi, and Dayaoshan Mountain in northeastern Central Guangxi; the distribution patterns of threatened species richness and endemic species richness are consistent in general, which are mainly located in limestone mountains in western Guangxi and Daqingshan Mountain and Shiwandashan Mountain in southwestern Guangxi. Fifteen conservation priority areas are screened based on the protection indexes of vascular plants in each county administrative region of Guangxi, in which, the protection indexes of Longzhou County and Napo County are 6.64 and 6.18, respectively, which are evidently higher than those of the other county administrative regions. The screened conservation priority areas are concentratedly distributed in northeastern and southwestern Guangxi, and the cumulative area accounts for 18.10% of the total area of Guangxi. In addition, these conservation priority areas have relatively high spatial corresponding relationships with existing nature reserves, which contain 30 existing nature reserves. However, compared with the screened conservation priority areas, existing nature reserves have the problems of low protection level and small protection area, and their protection efficiencies are relatively low. Taken together, it is recommended to merge nearby nature reserves in northeastern and southwestern Guangxi, and establish Nanling national park in northeastern Guangxi and limestone national park in southwestern Guangxi, respectively.

**Key words:** Guangxi; vascular plants; conservation priority area; species richness; phylogenetic diversity; protection index

生物多样性对于维持生态系统稳定和社会经济持续发展具有重要意义。然而,近几十年来,受气候环境变化和人类活动干扰,全球的物种灭绝速率急剧加快<sup>[1]</sup>,保护生物多样性迫在眉睫。但是,由于生物多样性分布不均匀和保护资金有限,很难对现存全部物种进行保护,应首要保护生物多样性保护优先区内的物种<sup>[2,3]</sup>。

进入 21 世纪以来,人们越来越重视生物多样性保护优先区的选择和确定<sup>[4,5]</sup>。一般情况下,研究者通过物种丰富度(species richness, SR)、濒危物种丰富度(threatened species richness, TR)和特有物种丰富度(endemic species richness, ER)等指标来识别生物多样性保护优先区<sup>[6,7]</sup>。近年来,研究者发现系统发生多样性(phylogenetic diversity, PD)能客观地反映生物多样性的形成历史、维持能力和演化潜力,可作为重要指标应用于生物多样性保护研究<sup>[7,8]</sup>。系统发生多样性可识别出具有独特演化历史的物种,这些物种的灭绝不但意味着独特演化历史和潜力的丢失,还可能会导致大量生物多样性丧失和生态系统稳定性降低<sup>[7-9]</sup>,因此,优先保护具有独特演化历史的物

种是生物多样性保护工作的重中之重。Forest 等<sup>[10]</sup>和 Tucker 等<sup>[11]</sup>发现,南非好望角西部的物种丰富度是东部的 2 倍,但西部的系统发生多样性却低于东部;而 Rodrigues 等<sup>[12]</sup>发现,南非西北部鸟类属水平的系统发生多样性和物种丰富度的空间格局相同。上述研究表明:物种丰富度和系统发生多样性在不同的研究区域和生物类群上可能存在较大差异。若某区域的物种丰富度和系统发生多样性同时显著高于其他区域,可判定该区域为保护优先区;若某区域的这 2 个指标未同时显著高于其他区域,究竟依据哪个指标确定保护优先区,有待进一步研究。

广西地理位置特殊,区内山脉交错,盆地相间,喀斯特地貌广布,雨水充沛,热量充足,拥有丰富而独特的植物种类,广西的植物多样性仅次于云南和四川,居全国第 3 位<sup>[13,14]</sup>。然而,人类活动干扰对广西植物多样性及其生境的破坏非常严重<sup>[15]</sup>。建立自然保护区是生物多样性保护的重要途径<sup>[16]</sup>。根据广西壮族自治区林业局公布的《广西自然保护区名录》(<http://lyj.gxzf.gov.cn/bsfw/sjfb/zrbhqcx/t11170326.shtml>),截至 2020 年底,广西已建立 78 个自然保护

区,包含23个国家级自然保护区、46个自治区级自然保护区、3个市级自然保护区和6个县级自然保护区,总面积达到12 117.77 km<sup>2</sup>,占广西总面积的5.10%<sup>[17]</sup><sup>[24]</sup>,该比例明显低于目前中国陆域保护区占国土总面积的比例(18%)<sup>[18]</sup>。因此,亟需扩大广西的自然保护区范围。

虽然目前已有学者对广西维管植物的物种丰富度、濒危物种丰富度和特有物种丰富度进行了调查分析<sup>[6,19,20]</sup>,但这些研究均侧重于物种分类分析,缺乏对相关物种演化历史和保护现状的考虑,研究结果存在一定的局限性。为此,本研究以物种多样性(包括物种丰富度、濒危物种丰富度和特有物种丰富度)和系统发生多样性为指标,结合广西维管植物系统发生树以及更新的广西物种名录和分布数据,筛选广西生物多样性保护优先区,评估广西现有自然保护区的保护效率,以期更全面和有效保护广西生物多样性提供科学依据,并为其他区域生物多样性保护优先区的规划和设计提供参考。

## 1 研究区概况和研究方法

### 1.1 研究区概况

广西地处中国南部,具体位置为东经104°28′~112°04′、北纬20°54′~26°24′,北回归线贯穿而过,面积约238 891 km<sup>2</sup>;下辖14个地级市,111个县级行政区。该区域气候多样,北部属中亚热带季风气候,中部属南亚热带季风气候,南部属北热带季风气候。年均温17.5℃~23.5℃,气温由北向南逐渐升高;年降水量841.2~3 387.5 mm,且年降水量在东部、南部和北部较多,在中部和西部较少。土壤类型主要有砖红壤、赤红壤、红壤和黄壤,自北向南由红壤、赤红壤转变为砖红壤。广西的东面、西面和北面环山,南面临海,西面和北面是云贵高原,东面是两广丘陵和五岭山区,地势由西北向东南倾斜;在西南部、西北部、中部和东北部分布的喀斯特地貌区约占广西总面积的41.0%<sup>[21]</sup>。广西的山地和丘陵中广泛分布着常绿阔叶林,并随着山地海拔升高逐渐过渡为常绿落叶阔叶混交林,而南部的低山丘陵地区则被季雨林取代<sup>[22]</sup><sup>[13-15]</sup>。

### 1.2 研究方法

1.2.1 维管植物种类及分布数据来源 文中广西维管植物、濒危植物和特有植物的相关信息主要来源于

《广西植物志》<sup>[23]</sup>、《广西植物名录》<sup>[24]</sup>和《广西本土植物及其濒危状况》<sup>[25]</sup>。参照《广西本土植物及其濒危状况》<sup>[25]</sup>记载的信息评估不同维管植物的濒危状况,将评估为极危(critically endangered, CR)、濒危(endangered, EN)和易危(vulnerable, VU)的种类归为濒危植物。

文中广西维管植物分布数据来源如下:1)县级行政区分布数据来源于《广西植物名录》<sup>[24]</sup>和《广西本土植物及其濒危状况》<sup>[25]</sup>;2)县级行政区标本记录来源于中国数字植物标本馆(<https://www.cvh.ac.cn/>)、国家标本平台(<http://www.nsii.org.cn/2017/home.php>)和全球生物多样性信息网(<https://www.gbif.org/>)。通过以上途径,共获取原始县级行政区分布数据289 734条。根据《Flora of China》系列书籍对涉及的植物学名进行标准化,保留接受名,并将异名的分布记录归入接受名,同时将亚种、变种和变型等种下单元归入相应种。此外,根据《广西植物名录》<sup>[24]</sup>去除栽培、归化、逸生和引种的种类。最终获得150 952条分布记录。

1.2.2 系统发生树获取 利用R软件中的picante包<sup>[26]</sup>和ape包<sup>[27]</sup>从“中国维管植物生命之树”<sup>[28]</sup>中提取广西维管植物系统发生树,目科分类阶元采用PPG I和APG IV系统,科级以下分类阶元根据《Flora of China》进行标准化,最终获得的广西维管植物系统发生树包括254科1 633属4 887种,其中,科水平取样率为94.4%,属水平取样率为87.6%,种水平取样率为56.8%。

1.2.3 县级行政区和自然保护区数据获取 县级行政区依据中华人民共和国民政部网站(<http://202.108.98.30/defaultQuery?shengji=%B9%E3%CE%F7%D7%B3%D7%E5%D7%D4%D6%CE%C7%F8%A3%A8%B9%F0%A3%A9&diji=-1&xianji=-1>)提供的广西壮族自治区(桂)地图[审图号GS(2018)2512号],而现有自然保护区数据则来源于广西壮族自治区林业局公布的《广西自然保护区名录》和《广西自然保护区》<sup>[17]</sup><sup>[240-242]</sup>。

1.2.4 物种和系统发生多样性计量分析 使用物种丰富度、濒危物种丰富度和特有物种丰富度分别计量广西111个县级行政区的维管植物、濒危植物和特有植物的数量;系统发生多样性则计量广西111个县级行政区维管植物种类在系统发生树上分枝的枝长总和<sup>[29]</sup>。根据广西维管植物系统发生树和广西维管植

物在 111 个县级行政区的分布数据,利用 R 软件中的 picante 包<sup>[26]</sup>和 ape 包<sup>[27]</sup>计算各县级行政区的系统发生多样性。

1.2.5 保护指数及保护优先区的确定 由物种丰富度、濒危物种丰富度、特有物种丰富度和系统发生多样性 4 个多样性指标组成保护指数,但由于这 4 个多样性指标存在相关性高、信息重叠、量纲不同和权重系数无法确定的问题<sup>[30-33]</sup>,遂基于主成分分析(principal component analysis,PCA)结果将这 4 个多样性指标降维成 1 个指标,即保护指数(Protection index, P\_index)。

根据保护指数确定保护优先区。首先将各县级行政区的保护指数由高到低进行排序,然后以目前中国大陆保护区面积占国土面积的比例(18%)<sup>[18]</sup>为标准,选取累计面积达到广西总面积 18% 的县级行政区域作为保护优先区。

## 2 结果和分析

### 2.1 广西维管植物科属组成分析

2.1.1 总体分析 统计结果显示:广西维管植物共 269 科 1 865 属 8 609 种,占全国维管植物总种数的 27.3%。对广西维管植物种数排名前 5 的科和属的统计结果分别见表 1 和表 2。从科水平看,广西维管

表 1 广西维管植物种数排名前 5 的科的统计结果

Table 1 Statistical result of the top five families in species number of vascular plants in Guangxi

科 Family	种数 Number of species
兰科 Orchidaceae	422
豆科 Fabaceae	389
苦苣苔科 Gesneriaceae	339
禾本科 Poaceae	319
茜草科 Rubiaceae	319

表 2 广西维管植物种数排名前 5 的属的统计结果

Table 2 Statistical result of the top five genera in species number of vascular plants in Guangxi

属 Genus	种数 Number of species
楼梯草属 <i>Elatostema</i>	92
报春苣苔属 <i>Primulina</i>	92
秋海棠属 <i>Begonia</i>	87
冬青属 <i>Ilex</i>	87
杜鹃花属 <i>Rhododendron</i>	84

植物中种数排名前 5 的科分别为兰科(Orchidaceae)、豆科(Fabaceae)、苦苣苔科(Gesneriaceae)、禾本科(Poaceae)和茜草科(Rubiaceae),分别有 422、389、339、319 和 319 种,这 5 个科的种数之和占广西维管植物总种数的 20.8%。从属水平看,广西维管植物中种数排名前 5 的属分别为楼梯草属(*Elatostema* J. R. Forst. et Forst.)、报春苣苔属(*Primulina* Hance)、秋海棠属(*Begonia* Linn.)、冬青属(*Ilex* Linn.)和杜鹃花属(*Rhododendron* Linn.),分别有 92、92、87、87 和 84 种,这 5 个属的种数之和占广西维管植物总种数的 5.1%。

2.1.2 濒危植物科属组成分析 统计结果显示:广西濒危植物有 173 科 619 属 1 814 种,占广西维管植物总种数的 21.1%。对广西濒危植物种数排名前 5 的科和属的统计结果分别见表 3 和表 4。在科水平上,兰科濒危植物种数最多,达 219 种,占广西濒危植物总种数的 12.1%;苦苣苔科濒危植物种数次之,为 175 种,占广西濒危植物总种数的 9.6%;天门冬科(Asparagaceae)和荨麻科(Urticaceae)濒危植物种数也较多,分别为 89 和 84 种;鳞毛蕨科(Dryopteridaceae)濒危植物种数排名第 5 位。这 5 个科的濒危植物种数之和占广西濒危植物总种数的 34.3%。在属水平上,报春苣苔属濒危植物种数最多,共 91 种,明显高于其他属;蜘蛛抱蛋属(*Aspidistra*

表 3 广西濒危植物种数排名前 5 的科的统计结果

Table 3 Statistical result of the top five families in species number of threatened plants in Guangxi

科 Family	种数 Number of species
兰科 Orchidaceae	219
苦苣苔科 Gesneriaceae	175
天门冬科 Asparagaceae	89
荨麻科 Urticaceae	84
鳞毛蕨科 Dryopteridaceae	55

表 4 广西濒危植物种数排名前 5 的属的统计结果

Table 4 Statistical result of the top five genera in species number of threatened plants in Guangxi

属 Genus	种数 Number of species
报春苣苔属 <i>Primulina</i>	91
蜘蛛抱蛋属 <i>Aspidistra</i>	59
楼梯草属 <i>Elatostema</i>	58
秋海棠属 <i>Begonia</i>	54
凤仙花属 <i>Impatiens</i>	26



Ker-Gawl.)、楼梯草属和秋海棠属濒危植物种数接近,分别有 59、58 和 54 种;凤仙花属 (*Impatiens* Linn.) 濒危植物种数最少,仅 26 种。这 5 个属的种数之和占广西濒危植物总种数的 15.9%。

2.1.3 特有植物科属组成分析 统计结果显示:广西特有植物种类较为丰富,共 108 科 321 属 984 种,占广西维管植物总种数的 11.4%。对广西特有植物种数排名前 5 的科和属的统计结果分别见表 5 和表 6。结果显示:特有植物种数大于 50 的科有 4 个,分别为苦苣苔科、茜草科、天门冬科和荨麻科,其中,苦苣苔科特有植物种数最多(197 种),占广西特有植物总种数的 20.0%;秋海棠科 (*Begoniaceae*) 特有植物种数也较多(43 种)。这 5 个科的特有植物种数之和占广西特有植物总种数的 43.3%。特有植物种数大于 40 的属有 4 个,分别为报春苣苔属、蜘蛛抱蛋属、秋海棠属和唇柱苣苔属 (*Chirita* Buch.-Ham. ex D. Don), 其中,报春苣苔属特有植物种数最多(81 种),明显高于其他属;楼梯草属特有植物种数也较多(39 种)。这 5 个属的特有植物种数之和占广西特有植物总种数的 25.9%。

表 7 广西维管植物多样性分布格局<sup>1)</sup>

Table 7 Diversity distribution patterns of vascular plants in Guangxi<sup>1)</sup>

县级行政区 County administrative region	物种丰富度 Species richness	濒危物种丰富度 Threatened species richness	特有物种丰富度 Endemic species richness	系统发生多样性 Phylogenetic diversity
那坡县 Napo County	3 334	443	173	64.96
龙州县 Longzhou County	3 123	428	236	62.66
龙胜各族自治县 Longsheng Multinational Autonomous County	3 002	247	90	65.44
融水苗族自治县 Rongshui Miao Autonomous County	2 985	251	100	62.73
金秀瑶族自治县 Jinxiu Yao Autonomous County	2 864	228	112	63.23
兴安县 Xing'an County	2 845	201	92	63.08
临桂区 Lingui District	2 759	177	78	63.86
凌云县 Lingyun County	2 644	190	75	58.65
上思县 Shangsi County	2 549	298	115	59.60
靖西市 Jingxi City	2 458	375	155	56.81
资源县 Ziyuan County	2 424	162	76	59.15
武鸣区 Wuming District	2 375	188	101	61.27
全州县 Quanzhou County	2 366	159	63	59.30
隆林各族自治县 Longlin Multinational Autonomous County	2 332	182	54	54.78
环江毛南族自治县 Huanjiang Maonan Autonomous County	2 295	268	99	58.26
田林县 Tianlin County	2 185	180	67	57.26
罗城仫佬族自治县 Luocheng Mulam Autonomous County	2 160	153	82	57.42
灵川县 Lingchuan County	2 122	134	72	56.13
天峨县 Tian'e County	2 122	150	56	55.42
防城区 Fangcheng District	2 106	257	85	52.59
永福县 Yongfu County	2 074	142	73	53.85
灌阳县 Guanyang County	2 056	124	62	53.67

<sup>1)</sup>表中仅列出物种丰富度大于 2 000 的县级行政区 The table only lists the county administrative regions with species richness greater than 2 000.

表 5 广西特有植物种数排名前 5 的科的统计结果

Table 5 Statistical result of the top five families in species number of endemic plants in Guangxi

科 Family	种数 Number of species
苦苣苔科 Gesneriaceae	197
茜草科 Rubiaceae	73
天门冬科 Asparagaceae	62
荨麻科 Urticaceae	51
秋海棠科 Begoniaceae	43

表 6 广西特有植物种数排名前 5 的属的统计结果

Table 6 Statistical result of the top five genera in species number of endemic plants in Guangxi

属 Genus	种数 Number of species
报春苣苔属 <i>Primulina</i>	81
蜘蛛抱蛋属 <i>Aspidistra</i>	49
秋海棠属 <i>Begonia</i>	43
唇柱苣苔属 <i>Chirita</i>	43
楼梯草属 <i>Elatostema</i>	39

## 2.2 广西维管植物多样性分布格局分析

对广西维管植物多样性分布格局的统计结果(表 7)显示:在广西的 111 个县级行政区中,89 个县

级行政区维管植物的物种丰富度低于2 000,占广西县级行政区总数的 80.2%;物种丰富度在 2 000 ~ 2 700及 2 700 以上的县级行政区分别有 15 和 7 个。物种丰富度从高到低排名前 7 的县级行政区依次为那坡县(3 334)、龙州县(3 123)、龙胜各族自治县(3 002)、融水苗族自治县(2 985)、金秀瑶族自治县(2 864)、兴安县(2 845)、临桂区(2 759),这些县级行政区主要位于广西盆地的边缘和内部山脉,如桂北的九万大山、桂东北的南岭山区、桂西的石灰岩山区、桂西南的大青山和桂中偏东北的大瑶山。整体上看,广西维管植物的物种丰富度分布格局呈现由高海拔山区向低海拔盆地和平原减少的趋势。

由表 7 可见:广西濒危植物和特有植物的分布范围均相对狭窄,濒危物种丰富度和特有物种丰富度的分布格局大体相同,主要分布在桂西的石灰岩山区以及桂西南的大青山和十万大山。其中,濒危物种丰富度从高到低排名前 4 的县级行政区依次为那坡县(443)、龙州县(428)、靖西市(375)、上思县(298);特有物种丰富度从高到低排名前 4 的县级行政区依次为龙州县(236)、那坡县(173)、靖西市(155)、上思

县(115)。

由表 7 还可见:广西维管植物的系统发生多样性与物种丰富度的分布格局基本一致,物种丰富度在 2 700 以上的 7 个县级行政区的系统发生多样性也排名前 7,只是顺序有所不同,7 个县级行政区的系统发生多样性从高到低依次为龙胜各族自治县(65.44)、那坡县(64.96)、临桂区(63.86)、金秀瑶族自治县(63.23)、兴安县(63.08)、融水苗族自治县(62.73)、龙州县(62.66)。

### 2.3 广西维管植物保护优先区的筛选及其与现有自然保护区的比较

对广西 111 个县级行政区维管植物的物种丰富度、濒危物种丰富度、特有物种丰富度和系统发生多样性 4 个多样性指标进行主成分分析,分析结果见表 8。

由表 8 可见:第 1 主成分的贡献率为 92.14%,明显高于 80%,且 4 个多样性指标在第 1 主成分上的载荷均在 0.5 左右,由此可见,选取第 1 主成分作为保护指数能够最大限度地反映广西维管植物 4 个多样性指标的绝大部分信息。

表 8 广西维管植物 4 个多样性指标的主成分分析

Table 8 Principal component analysis on four diversity indexes of vascular plants in Guangxi

主成分 Principal component	初始因子载荷 Initial factor load				特征值 Eigenvalue	贡献率/% Contribution rate	累计贡献率/% Cumulative contribution rate
	物种丰富度 Species richness	濒危物种丰富度 Threatened species richness	特有物种丰富度 Endemic species richness	系统发生多样性 Phylogenetic diversity			
1	0.51	0.50	0.49	0.49	3.69	92.14	92.14
2	-0.32	0.42	0.55	-0.64	0.24	5.91	98.05
3	0.19	0.68	-0.67	-0.23	0.05	1.25	99.30
4	0.77	-0.33	0.07	-0.54	0.03	0.70	100.00

基于上述研究结果,采用保护指数对广西维管植物保护优先区进行筛选,结果见表 9。结果显示:当保护优先区的累计面积达到广西总面积的 18.10% 时,可筛选出 15 个县级行政区,按照保护指数由高到低依次为龙州县(6.64)、那坡县(6.18)、靖西市(4.53)、融水苗族自治县(3.78)、龙胜各族自治县(3.77)、上思县(3.77)、金秀瑶族自治县(3.74)、兴安县(3.31)、环江毛南族自治县(3.15)、临桂区(2.96)、武鸣区(2.91)、凌云县(2.67)、防城区(2.50)、资源县(2.38)、全州县(2.16)。

由表 9 可见,筛选出的 15 个保护优先区包含 30 个现有自然保护区,这些现有自然保护区的累计面积

为 4 662.84 km<sup>2</sup>,包括国家级自然保护区 13 个、自治区级自然保护区 13 个、县级自然保护区 4 个,说明筛选出的保护优先区与现有自然保护区具有较高的空间对应关系。但是,与筛选出的保护优先区累计面积相比,现有自然保护区的累计面积偏小,仅占筛选出的保护优先区累计面积的 10.79%,说明广西的现有自然保护区保护范围较小,存在较多的保护空缺区域。值得注意的是,目前,那坡县只有 2 个自然保护区,一个为自治区级自然保护区,另一个为县级自然保护区,这与那坡县保护指数排名第 2 的分析结果极不相符,说明目前那坡县维管植物的保护等级偏低,应加强对该县维管植物的保护力度。

表 9 广西维管植物保护优先区与现有自然保护区的比较

Table 9 Comparison on conservation priority areas with existing nature reserves of vascular plants in Guangxi

县级行政区 County administrative region	保护优先区 Conservation priority area			现有自然保护区 Existing nature reserve		
	保护指数 Protection index	面积/km <sup>2</sup> Area	累计面积/km <sup>2</sup> Cumulative area	名称 <sup>1)</sup> Name <sup>1)</sup>	面积/km <sup>2</sup> Area	累计面积/km <sup>2 2)</sup> Cumulative area <sup>2)</sup>
龙州县 Longzhou County	6.64	2 311	2 311	NG QLS ZJ	100.78 167.79 4.17	100.78 268.57 272.74
那坡县 Napo County	6.18	2 231	4 542	LHT DF	270.08 27.39	542.82 570.21
靖西市 Jingxi City	4.53	3 232	7 774	BL DD GLS DZ	65.30 49.07 296.75 112.42	635.51 684.58 981.33 1 093.75
融水苗族自治县 Rongshui Miao Autonomous County	3.78	4 638	12 412	JWS YBS SJS	252.13 42.21 103.84	1 345.88 1 388.09 1 491.93
龙胜各族自治县 Longsheng Multinational Autonomous County	3.77	2 538	14 950	HP MES JX	151.33 170.09 51.15	1 643.26 1 813.35 1 864.50
上思县 Shangsi County	3.77	2 815	17 765	SWDS	582.77	2 447.27
金秀瑶族自治县 Jinxiu Yao Autonomous County	3.74	2 470	20 235	DYS JXLS	249.07 88.75	2 696.34 2 785.09
兴安县 Xing'an County	3.31	2 344	22 579	MES HYS	170.09 703.82	2 785.09 3 488.91
环江毛南族自治县 Huanjiang Maonan Autonomous County	3.15	4 572	27 151	JWS ML	252.13 89.69	3 488.91 3 578.60
临桂区 Lingui District	2.96	2 247	29 398	HP SC	151.33 214.18	3 578.60 3 792.78
武鸣区 Wuming District	2.91	3 389	32 787	DMS LLJ	166.94 128.22	3 959.72 4 087.94
凌云县 Lingyun County	2.67	2 053	34 840	CWLS LY SS	189.94 6.84 159.44	4 277.88 4 284.47 4 444.16
防城区 Fangcheng District	2.50	2 426	37 266	FC FCWHS	90.99 0.79	4 535.15 4 535.94
资源县 Ziyuan County	2.38	1 941	39 207	YZLS	43.41	4 579.35
全州县 Quanzhou County	2.16	4 021	43 228	HYS WFBD	703.82 83.49	4 579.35 4 662.84

<sup>1)</sup> NG: 弄岗国家级自然保护区 Nonggang National Nature Reserve; QLS: 青龙山自治区级自然保护区 Qinglongshan Autonomous Region Nature Reserve; ZJ: 左江佛耳丽蚌自治区级自然保护区 Zuojiang Fu'erlibang Autonomous Region Nature Reserve; LHT: 老虎跳自治区级自然保护区 Laohutiao Autonomous Region Nature Reserve; DF: 德孚县级自然保护区 Defu County Nature Reserve; BL: 邦亮长臂猿国家级自然保护区 Bangliang Gibbon National Nature Reserve; DD: 底定自治区级自然保护区 Diding Autonomous Region Nature Reserve; GLS: 古龙山县级自然保护区 Gulongshan County Nature Reserve; DZ: 地州县级自然保护区 Dizhou County Nature Reserve; JWS: 九万山国家级自然保护区 Jiuwanshan National Nature Reserve; YBS: 元宝山国家级自然保护区 Yuanbaoshan National Nature Reserve; SJS: 泗洞山大鲵自治区级自然保护区 Sijianshan Giant Salamander Autonomous Region Nature Reserve; HP: 花坪国家级自然保护区 Huaping National Nature Reserve; MES: 猫儿山国家级自然保护区 Mao'er shan National Nature Reserve; JX: 建新自治区级自然保护区 Jianxin Autonomous Region Nature Reserve; SWDS: 十万大山国家级自然保护区 Shiwandashan National Nature Reserve; DYS: 大瑶山国家级自然保护区 Dayaoshan National Nature Reserve; JXLS: 金秀老山自治区级自然保护区 Jinxiu Laoshan Autonomous Region Nature Reserve; HYS: 海洋山自治区级自然保护区 Haiyangshan Autonomous Region Nature Reserve; ML: 木论国家级自然保护区 Mulun National Nature Reserve; SC: 寿城自治区级自然保护区 Shoucheng Autonomous Region Nature Reserve; DMS: 大明山国家级自然保护区 Damingshan National Nature Reserve; LLJ: 三十六弄-陇均自治区级自然保护区 Lane 36-Longjun Autonomous Region Nature Reserve; CWLS: 岑王老山国家级自然保护区 Cenwang Laoshan National Nature Reserve; LY: 凌云洞穴鱼类自治区级自然保护区 Lingyun Cave Fish Autonomous Region Nature Reserve; SS: 泗水河自治区级自然保护区 Sishui River Autonomous Region Nature Reserve; FC: 防城金花茶国家级自然保护区 Fangcheng Golden Flower Tea National Nature Reserve; FCWHS: 防城万鹤山鹭鸟县级自然保护区 Fangcheng Wanheshan Heron Bird County Nature Reserve; YZLS: 银竹老山资源冷杉国家级自然保护区 Yinzhu Laoshan Ziyuan Fir National Nature Reserve; WFBD: 五福宝顶自治区级自然保护区 Wufubao ding Autonomous Region Nature Reserve.

<sup>2)</sup> 重复自然保护区面积只计算 1 次 The area of repeated nature reserves is calculated only once.

### 3 讨 论

本研究利用保护指数筛选广西维管植物的保护优先区,同时涵盖了物种、濒危物种和特有物种的丰富度和进化历史,实现了较全面的保护目标。作者根据保护指数筛选到15个县级行政区作为保护优先区,主要位于广西盆地的边缘和内部山脉,是维管植物多样性和特有性最高的区域,而在海拔低的小盆地(桂中盆地、南宁盆地和玉林盆地等)和平原(浔江平原、贵港平原和南流江河谷平原等),维管植物的多样性则较低。推测这些区域的维管植物多样性可能与山脉的地理位置有关<sup>[34]</sup>。这些山脉均位于热带或亚热带区域,且大多数山脉属于中海拔山区,而中海拔山区通常是生物多样性最高的区域<sup>[35]</sup>;桂中和桂南的地势却较低,人口密度大,人类活动频繁,土地多为生产和生活用地,维管植物的种类和数量均较少。

本研究发现,广西维管植物的物种丰富度和系统发生多样性都集中分布在桂北的九万大山、桂东北的南岭山区、桂西的石灰岩山区、桂西南的大青山和桂中偏东北的大瑶山,推测造成这种分布格局的主要原因是物种丰富度和系统发生多样性具有较高的相关性<sup>[32]</sup>。物种丰富度指某县级行政区维管植物的种数,系统发生多样性是该县级行政区维管植物种类在系统发生树上的分枝的枝长总和。当维管植物种数较多时,其在系统发生树上的分枝增多,枝长总和也会增大。桂北的九万大山和桂东北的南岭山区是第四纪冰期植物的避难所<sup>[22]83-85</sup>;桂西的石灰岩山区和桂西南的大青山是古热带区系<sup>[36,37]</sup>;桂中偏东北的大瑶山是广西成陆较早的区域,也是古热带区系与泛北极区系的交界处<sup>[37]</sup>;这些区域都存在区系古老、生境复杂、气候稳定、环境适宜等特点,为植物营造了最佳的生存条件,因而,这些区域维管植物的物种丰富度较高,系统发生多样性也较高。值得注意的是,十万大山一直被认为是广西的物种分布中心和古老物种聚集中心<sup>[36,37]</sup>,但在本研究中该区域维管植物的物种丰富度和系统发生多样性并未表现出这方面的特征,可能是因为十万大山的面积较大,分布于多个县级行政区,导致分布其中的物种被分隔,致使其物种丰富度和系统发生多样性不显著。

本研究还发现,广西濒危物种丰富度和特有物种

丰富度的分布格局基本一致,与物种丰富度分布格局不同,濒危植物和特有植物仅集中分布在桂西的石灰岩山区以及桂西南的大青山和十万大山,在一定程度上印证了“桂西的石灰岩山地和桂西南的大青山和十万大山是特有物种和濒危物种的分布中心”<sup>[22]72-83</sup>的观点。虽然大青山和十万大山均属于热带的酸性区<sup>[36,37]</sup>,但在其海拔500 m以下的区域分布有很多石灰岩峰丛,为植物的生长和演化提供了多种生存条件,因此,大青山和十万大山的特有植物众多。石灰岩地区海拔相对较低,易受人类活动干扰,生境比较脆弱,因此,该区域的濒危植物很多。可见,桂西的石灰岩山区以及桂西南的大青山和十万大山不仅维管植物物种丰富度高,而且濒危植物和特有植物也较多,因此,建议加强对这些区域植物的保护力度。

相关研究结果表明:植物保护效率的高低与保护区面积大小和保护级别高低有密切关系<sup>[38]</sup>。本研究筛选出的保护优先区为15个县级行政区,虽然这些县级行政区目前都有自然保护区,但是这些自然保护区面积较小、保护空缺多且保护等级偏低(超半数的自然保护区保护级别为自治区级或县级)。为了更有效且全面地保护广西维管植物多样性,建议加强对保护优先区内现有自然保护区的建设,扩大保护区面积并提高保护等级。建议将保护优先区集中分布的桂东北和桂西南的保护区合并,分别建立桂东北南岭国家公园和桂西南石灰岩国家公园,以保护桂东北和桂西南生态系统的完整性,扩大动植物的生存空间,降低人为干扰,保护物种基因库,涵养水源,调节气候,促进当地经济的可持续发展。

本研究以县级行政区为基本单元开展广西维管植物保护优先区研究,涉及的植物种类分布数据主要来源于各类志书和标本记录,但由于这些书籍的完成时间已有多年以及采集人的标本采集偏好等原因,可能会造成统计数据不完整或不准确(如地名变更造成分布数据无法正确匹配,城市扩建造造成物种分布地减少,缺少新种分布数据及个别县级行政区物种明显偏少),导致研究结果与实际情况存在一定的偏差。在后续研究中,应收集更加精细化的标本和分布数据,以期获得更为切合实际的研究结果。

**致谢:** 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所刘演研究员和韦毅刚研究员为本研究提供了相关数据资料,在此表示感谢!



## 参考文献:

- [1] 赵淑清, 方精云, 雷光春. 全球 200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法[J]. 生物多样性, 2000, 8(4): 435-440.
- [2] DOBSON A P, RODRIGUEZ J P, ROBERTS W M, et al. Geographic distribution of endangered species in the United States [J]. *Science*, 1997, 275(5299): 550-553.
- [3] OLSON D E, DINERSTEIN E, WIKRAMANAYAKE E D, et al. Terrestrial ecoregions of the world: a new map of life on earth [J]. *BioScience*, 2001, 51(11): 933-938.
- [4] 马克平. 中国生物多样性热点地区 (Hotspot) 评估与优先保护重点的确定应该重视[J]. 植物生态学报, 2001, 25(1): 125, 124.
- [5] MYERS N, MITTERMEIER R A, MITTERMEIER C G, et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities [J]. *Nature*, 2000, 403: 853-858.
- [6] HOU M F, LÓPEZ-PUJOL J, QIN H N, et al. Distribution pattern and conservation priorities for vascular plants in Southern China: Guangxi Province as a case study [J]. *Botanical Studies*, 2010, 51: 377-386.
- [7] MORITZ C. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary processes that sustain it [J]. *Systematic Biology*, 2002, 51(2): 238-254.
- [8] WINTER M, DEVICTOR V, SCHWEIGER O. Phylogenetic diversity and nature conservation: where are we? [J]. *Trends in Ecology and Evolution*, 2013, 28(4): 199-204.
- [9] FAITH D P. Biodiversity and evolutionary history: useful extensions of the PD phylogenetic diversity assessment framework [J]. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2013, 1289: 68-89.
- [10] FOREST F, GRENYER R, ROUGET M, et al. Preserving the evolutionary potential of floras in biodiversity hotspots [J]. *Nature*, 2007, 445: 757-760.
- [11] TUCKER C M, CADOTTE M W, DAVIES T J, et al. Incorporating geographical and evolutionary rarity into conservation prioritization [J]. *Conservation Biology*, 2012, 26(4): 593-601.
- [12] RODRIGUES A S L, GASTON K J. Maximising phylogenetic diversity in the selection of networks of conservation areas [J]. *Biological Conservation*, 2002, 105: 103-111.
- [13] 李锡文. 云南植物区系 [J]. 云南植物研究, 1985, 7(4): 361-382.
- [14] 李仁伟, 张宏达. 四川种子植物区系组成的初步分析 [J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(5): 381-386.
- [15] 谭伟福. 广西生物多样性评价及保护研究 [J]. 贵州科学, 2005, 23(2): 50-54.
- [16] 徐卫华, 欧阳志云, 张 路, 等. 长江流域重要保护物种分布格局与优先区评价 [J]. 环境科学研究, 2010, 23(3): 312-319.
- [17] 谭伟福. 广西自然保护区 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2014.
- [18] 孙 鹏. 中国自然保护国际论坛达成“深圳共识” [J]. 绿色中国, 2019(22): 77-79.
- [19] 丁 莉, 唐文秀, 骆文华, 等. 广西特有植物区系特征研究 [J]. 广西植物, 2010, 30(2): 202-208.
- [20] 兰 健, 赖家业, 刘 凯, 等. 广西珍稀濒危植物研究概况 [J]. 广西林业科学, 2004, 33(4): 53-57.
- [21] 胡业翠, 刘彦随, 吴佩林, 等. 广西喀斯特山区土地石漠化: 态势、成因与治理 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 96-101.
- [22] 侯满福. 广西植物区系与植物地理研究 [D]. 北京: 中国科学院植物研究所, 2008.
- [23] 广西壮族自治区中国科学院广西植物研究所. 广西植物志: 第二卷 种子植物 [M]. 南宁: 广西科学技术出版社, 2005: 1-947.
- [24] 覃海宁, 刘 演. 广西植物名录 [M]. 北京: 科学出版社, 2010: 1-625.
- [25] 韦毅刚. 广西本土植物及其濒危状况 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2019: 1-908.
- [26] KEMBEL S W, COWAN P D, HELMUS M R, et al. Picante: R tools for integrating phylogenies and ecology [J]. *Bioinformatics*, 2010, 26(11): 1463-1464.
- [27] PARADIS E, SCHLIEP K. ape 5.0: an environment for modern phylogenetics and evolutionary analyses in R [J]. *Bioinformatics*, 2019, 35(3): 526-528.
- [28] HU H H, LIU B, LIANG Y S, et al. An updated Chinese vascular plant tree of life: phylogenetic diversity hotspots revisited [J]. *Journal of Systematics and Evolution*, 2020, 58(5): 663-672.
- [29] FAITH D P. Conservation evaluation and phylogenetic diversity [J]. *Biological Conservation*, 1992, 61: 1-10.
- [30] ELLIOTT M J, KNERR N J, SCHMIDT-LEBUHN A N. Choice between phylogram and chronogram can have a dramatic impact on the location of phylogenetic diversity hotspots [J]. *Journal of Biogeography*, 2018, 45(9): 2190-2201.
- [31] ALLEN J M, GERMAIN-AUBREY C C, BARVE N, et al. Spatial phylogenetics of florida vascular plants: the effects of calibration and uncertainty on diversity estimates [J]. *iScience*, 2019, 11: 57-70.
- [32] LI R, YUE J. A phylogenetic perspective on the evolutionary processes of floristic assemblages within a biodiversity hotspot in eastern Asia [J]. *Journal of Systematics and Evolution*, 2020, 58(4): 413-422.
- [33] 王丽芳. 主成分分析在综合评价中的应用 [J]. 经济研究导刊, 2012(19): 219-222, 267.
- [34] 单章建, 阙 灵, 陈淑楠, 等. 江西省药用维管植物的分布特征和保护现状分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(3): 50-57.
- [35] 王志恒, 陈安平, 朴世龙, 等. 高黎贡山种子植物物种丰富度沿海拔梯度的变化 [J]. 生物多样性, 2004, 12(1): 82-88.
- [36] 陆益新, 黄广宾, 梁畴芬. 广西特有植物的研究(续完) [J]. 广西植物, 1989, 9(3): 201-210.
- [37] 陆益新, 梁畴芬. 广西植物地理的基本情况和基本特征 [J]. 广西植物, 1983, 3(3): 153-165.
- [38] 侯欢欢, 安明态, 金 勇, 等. 基于贵州省兰科植物丰富度与分布特征的保护优先区研究 [J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(1): 88-94.

(责任编辑: 佟金凤)