

杨启池, 李亭亭, 汪正祥, 徐玉洋, 张贺贺, 李玲. 鄂西北珍稀濒危植物及物种多样性空间尺度分析[J]. 植物科学学报, 2019, 37(4): 464~473
 Yang QC, Li TT, Wang ZX, Xu YY, Zhang HH, Li L. Spatial scale analysis of the species diversity and distribution of rare and endangered plants in northwest Hubei, China[J]. *Plant Science Journal*, 2019, 37(4): 464~473

鄂西北珍稀濒危植物及物种多样性空间尺度分析

杨启池^{1,2}, 李亭亭^{1,2}, 汪正祥^{1,2*}, 徐玉洋^{1,2}, 张贺贺^{1,2}, 李玲^{1,2}

(1. 区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 武汉 430062; 2. 湖北大学资源环境学院, 武汉 430062)

摘要:为了探究鄂西北地区珍稀濒危植物及其多样性空间分布与该区域地理环境的关系,于2007~2017年先后对鄂西北8个自然保护区的植物资源进行了调查,对其种类组成、地理成分、生活型及物种多样性的空间分布特征进行研究。结果显示:(1)鄂西北珍稀濒危植物共有262种,隶属于62科149属;(2)该区域珍稀濒危植物地理成分与生活型谱具有地域过渡性和多样性;(3)鄂西北地区珍稀濒危植物的物种丰富度峰值出现在海拔900~1700 m区段,物种丰富度与海拔区段间具有显著的二次方程关系: $y = -0.5107x^2 - 12.43x + 7.3111$ ($R^2 = 0.7867$, $P = 0.04$);(4)不同空间尺度下,物种Shannon-Wiener多样性指数(H_D)、均匀度指数(E_D)、Margalef多样性指数(K_D)随空间尺度的变化均呈幂函数关系,其相关系数分别为 $R^2 = 0.7303$ (H_D)、 $R^2 = 0.8858$ (E_D)、 $R^2 = 0.9805$ (K_D)。研究表明 H_D 、 E_D 、 K_D 值的变化幅度可能与该区域地理环境的变化有关。目前砍伐毁林和过度采挖是该地区珍稀濒危植物最大的威胁因素,建议从珍稀濒危植物物种多样性分布与地理环境特性相结合的角度加强管理,为区域珍稀濒危植物的科学恢复提供支撑。

关键词:珍稀濒危植物;物种多样性;空间尺度;鄂西北

中图分类号:Q948 **文献标识码:**A

文章编号:2095-0837(2019)04-0464-10

DOI:10.11913/PSJ.2095-0837.2019.40464

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Spatial scale analysis of the species diversity and distribution of rare and endangered plants in northwest Hubei, China

Yang Qi-Chi^{1,2}, Li Ting-Ting^{1,2}, Wang Zheng-Xiang^{1,2*}, Xu Yu-Yang^{1,2}, Zhang He-He^{1,2}, Li Ling^{1,2}

(1. *Hubei Key Laboratory of Regional Development and Environmental Response*, Wuhan 430062, China; 2. *Faculty of Resources and Environmental Science, Hubei University*, Wuhan 430062, China)

Abstract: To explore the relationship between the spatial distribution of rare and endangered plants and their diversity and geographical environment, we investigated eight nature reserves in northwest Hubei, China, from 2007 to 2017. Results showed that: (1) There were 262 species of rare and endangered plants in northwest Hubei, belonging to 62 families and 149 genera. (2) The geographical composition and life-form spectra of the rare and endangered plants in the region were transitional and diverse. (3) Peak species richness of these plants occurred in the 900~1700 m range, and there was a significant quadratic relationship between species richness and altitude: $y = -0.5107x^2 - 12.43x + 7.3111$ ($R^2 = 0.7867$, $P = 0.04$). (4) Analysis of species diversity under different spatial scales indicated that the Shannon-Wiener index (H_D), Evenness index (E_D), and Margalef index (K_D) all

收稿日期: 2018-11-20, 退修日期: 2019-01-11。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41471041)。

This work was supported by a grant from the National Natural Science Foundation of China (41471041).

作者简介: 杨启池(1993-), 男, 硕士研究生, 主要从事珍稀濒危植物保护与生物多样性研究(E-mail: 1226410183@qq.com)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: wangzx66@hubu.edu.cn)。

showed significant correlations with spatial scale. The correlation coefficients were $R^2 = 0.7303$ (H_D), $R^2 = 0.8858$ (E_D), and $R^2 = 0.9805$ (K_D), respectively. Results also showed that correlations existed in the magnitude of changes in H_D , E_D , and K_D and changes in the geographical environment. At present, deforestation and over-exploitation are the greatest threats for the rare and endangered plants in the region. It is recommended that management and conservation need to be strengthened from the perspective of species diversity and geographical environment characteristics to provide support for the scientific restoration of rare and endangered plants in the region.

Key words: Rare and endangered plants; Species diversity; Spatial scale; Northwest Hubei

物种的空间分布信息综合反映了物种本身的相关特性(如物种演化、生长策略、迁移特征等)^[1, 2]、物种与环境因子(如海拔、经纬度等)的关系^[3, 4]以及物种致濒机理(内在、外在等)^[5]，是研究种群动态、生态机理及确定濒危等级的有效形式^[5, 6]。物种多样性是描述一个空间种群多样性的统计量，用来度量系统结构组成复杂程度^[7]，体现了物种组成的层次类型、组织水平、稳定程度和生境异质性^[8]。而物种多样性在很大程度上取决于物种的分布格局^[9]，通过物种不同的空间分布格局可以推断潜在的生态学过程或影响机制^[2]。因此，正确揭示物种多样性变化与物种空间分布格局，可以认识物种多样性在空间上的分布特征^[10]，从而理解生物多样性的形成机制^[11, 12]。

第四纪冰期以来，鄂西北未遭受冰川直接侵袭，成为许多古老植物的避难所^[13]。鄂西北森林植被类型多样，珍稀濒危植物丰富，是我国珍稀濒危植物分布多样性的中心区域之一，拥有众多特有珍稀植物^[14]。但由于人口增加及经济活动日益频繁，该区森林植被和物种资源遭到严重破坏^[15]，如何对他们进行有效地保护已成为亟待解决的问题之一。目前针对鄂西北地区珍稀濒危植物的研究主要集中在鄂西北局部区域或单个自然保护区，或是对其中某一特殊属或种进行的保护研究^[16-18]，而对该区珍稀濒危植物及其多样性空间分布的整体研究还未见报道。本研究基于2007—2017年对鄂西北8个自然保护区植物调查获得的大量珍稀濒危植物及其空间分布数据，对其珍稀濒危植物组成特征及不同空间尺度下物种多样性进行分析，探讨其不同空间尺度下的多样性变化规律与该区域地理环境的关系，以期保护和恢复该区域的生物多样性并为鄂西北制定珍稀濒危植物保护措施提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

鄂西北地区的荆山山脉和大巴山脉，是汉江流域与长江流域的分水岭。其中荆山山脉有野人谷自然保护区、五道峡自然保护区、南河自然保护区和漳河源自然保护区；大巴山脉有八卦山自然保护区、堵河源自然保护区、神农架自然保护区和万朝山自然保护区(图1)。该区域地处北纬 $31^{\circ}2'$ ~ $32^{\circ}6'$ 、东经 $109^{\circ}4'$ ~ $112^{\circ}9'$ ，总面积为 $30\,286\text{ km}^2$ ，属中高山地貌，是中国西南高山与华中丘陵的过渡地带，最高峰神农顶海拔3105 m，最低点海拔129 m，平均海拔约1500 m，相对高差约2900 m。本区属于典型的北亚热带和暖温带过渡带，全年80%盛行东南季风，受山脉的影响，气温呈马鞍形分布且垂直分带明显。年均气温15℃左右， $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年有效积温4878℃，无霜期243 d，年均相对湿度74%，年均降水量约800 mm^[19]。土壤主要由黄壤、黄棕壤、棕壤组成，且垂直差异明显，海拔1500 m以下为黄棕壤，海拔1500 m以上为棕壤^[20]。独特的地理位置、优越的自然环境和气候条件使得该区域成为我国生物多样性研究的热点区域之一，同时也是许多珍稀濒危植物的重要生长地^[21]。

1.2 数据来源与处理

于2007—2017年在鄂西北8个自然保护区的24个林场、69个河谷段和118个主要山峰及其延伸区进行植物调查并标本采集。在植被保存较好的中、高海拔地段，以及海拔较低的次生林、荒坡、溪流、谷地等生境设置植物调查样方共282个，详细记录样方内生境、经纬度、海拔高度、每木胸径/基径。通过查阅相关馆藏植物标本[湖北大学

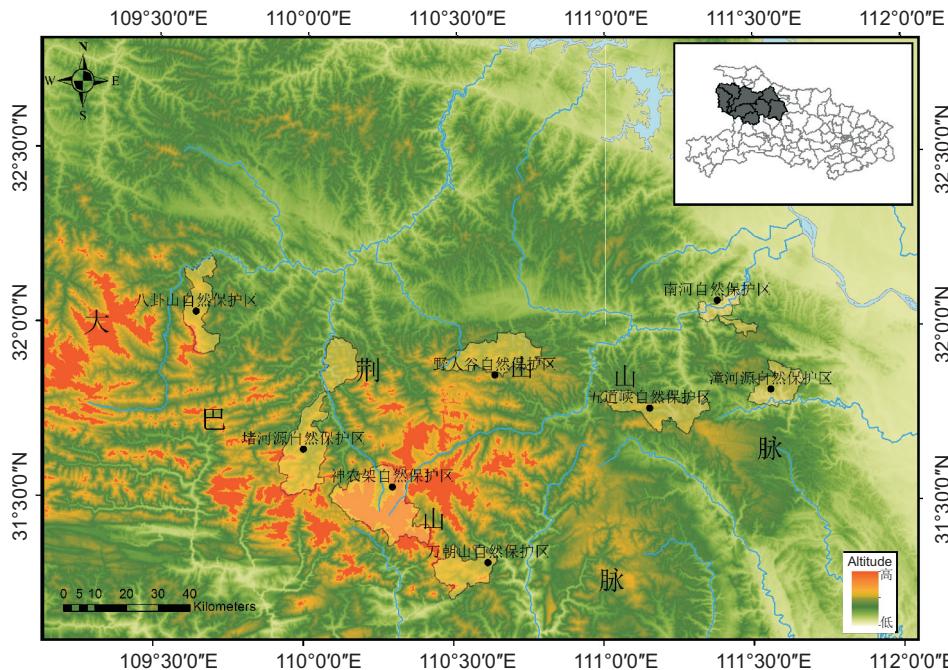


图1 鄂西北8个自然保护区地理位置分布图

Fig. 1 Geographical distribution of the eight nature reserves in northwest Hubei, China

资源环境学院标本室、中国科学院植物研究所植物标本馆(PE)、中国科学院华南植物园植物标本馆(IBSC)、中国科学院昆明植物研究所植物标本馆(KUN)、中国科学院武汉植物园植物标本馆(HIB)]，并参照我国《国家重点保护野生植物名录(第一批)》^[22]和《中国珍稀濒危保护植物名录》^[23]、《中国植物红皮书》^[24]、《中国物种红色名录》^[25]及国际上公开发表的《濒危野生动植物种国际贸易公约(附录Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ)》^[26]、《IUCN濒危物种红色名录》^[27]界定该区域珍稀濒危保护植物种类信息。共计提取出2729份珍稀濒危植物信息及物种分布点位。编制出鄂西北珍稀濒危保护植物名录¹⁾。

1.3 地理成分与生活型划分

采用王荷生^[28]和吴征镒^[29]对中国种子植物属的地理分布划分标准，对鄂西北地区珍稀濒危种子植物地理成分进行划分。参照《中国植物志》^[30]、《湖北植物志》^[31]以及Raunkiaer^[32]的方法，按照植物生长基本状态，将鄂西北珍稀濒危植物划分为9种生活型：大高位芽、中高位芽、小高位芽、矮高位芽、地上芽、地面芽、地下芽、一年生、

藤本。

1.4 空间尺度划分

为了从不同尺度上研究珍稀濒危植物物种多样性及其空间格局变化^[33]，以珍稀濒危植物经纬度、海拔数据绘制三维地理空间分布状况(图2: a)；采用阿尔伯特投影在以经度-纬度(longitude-latitude)的二维平面图内(图2: b)，以北纬31.2°、东经110.6°为起点，每隔0.2个经纬度依次覆盖划分，逐渐扩大物种空间分布尺度范围。将划分的样本子集分别命名为D1, D2, D3, …, D8(图2: b)。

1.5 多样性测定

本研究采用Shannon-Wiener多样性指数测定各空间样本子集物种及其分布点之间的相对丰富程度；采用均匀度指数测定空间样本子集物种分布的均匀程度；采用Margalef多样性指数^[34]测定空间样本子集的物种结构与种群大小的变化规律。计算公式如下：

(1) Shannon-Wiener多样性指数：

$$H_D = -\sum_{k=1}^S P_k \ln(P_k)$$

式中， P_k 为某物种出现的概率， S 为物种数。

1) 如需查阅“鄂西北珍稀濒危保护植物名录”请登录《植物科学学报》网站(<http://www.plantscience.cn>)查看本期文章附录。

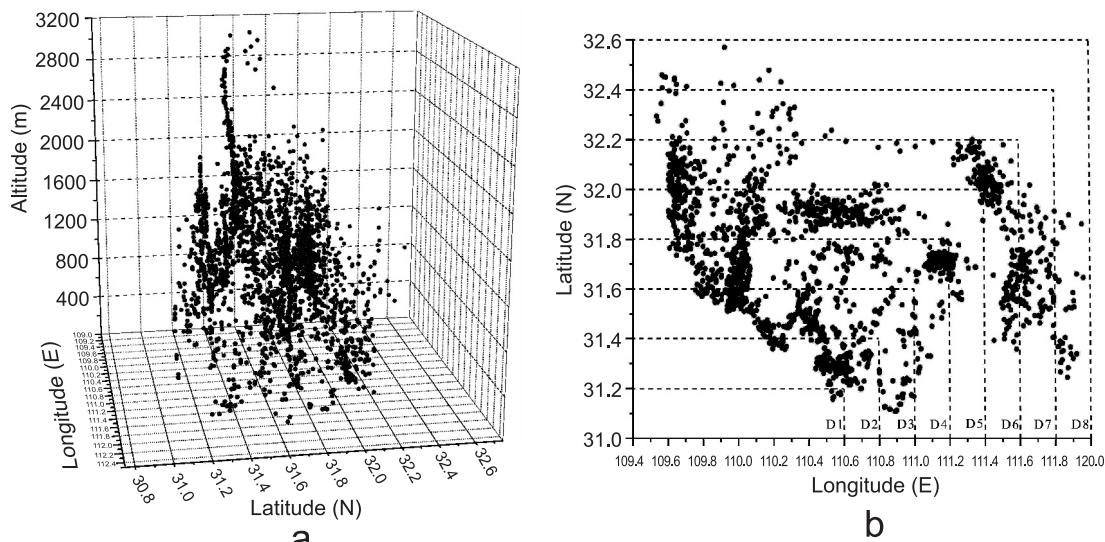


图 2 珍稀濒危植物垂直空间分布(a)、经纬度空间尺度划分(b)

Fig. 2 Altitude species distribution (a), longitude-latitude scale partition (b) of rare and endangered plants

(2) 均匀度指数:

$$E_D = -\sum_{k=1}^S P_k \ln(P_k) / \ln(S)$$

式中, E 越接近于 1, 则均匀程度越大。

(3) Margalef 多样性指数: $K_D = \log_N^S$

式中, S 为物种数, N 为空间样本子集的物种出现次数, $K_D(0 \leq K \leq 1)$ 即为 Margalef 多样性指数。

2 结果与分析

2.1 珍稀濒危植物基本特征

2.1.1 珍稀植物物种组成

调查结果显示, 鄂西北共有珍稀濒危植物 62 科 149 属 262 种, 其中蕨类植物 1 科 1 属 1 种, 裸子植物 4 科 12 属 16 种, 被子植物 57 科 136 属 245 种。

(1) 被《国家重点保护野生植物名录》(第一批) 收录的有 35 种, 占本区珍稀濒危植物的 13.35%。其中, 国家 I 级保护植物 6 种, 有银杏 (*Ginkgo biloba* L.)、红豆杉 (*Taxus chinensis* (Pilger) Rehd.)、南方红豆杉 (*Taxus chinensis* var. *mairei* (Lemee et Lev.) Cheng et L. K. Fu.)、珙桐 (*Davidia involucrata* Baill.)、伯乐树 (*Bretschneidera sinensis* Hemsl.) 等; 国家 II 级保护植物 29 种。

(2) 被《中国珍稀濒危保护植物名录》收录的有 51 种, 占本区珍稀濒危植物的 19.47%。其中,

级保护植物 1 种, 即珙桐; 二级保护植物 18 种, 有银杏、金钱松 (*Pseudolarix amabilis* (Nelson) Rehd.)、大果青杄 (*Picea neoveitchii* Mast.)、篦子三尖杉 (*Cephalotaxus oliveri* Mast.)、鹅掌楸 (*Liriodendron chinense* (Hemsl.) Sargent.)、巴东木莲 (*Manglietia patungensis* Hu.) 等; 三级保护植物 32 种, 有黄杉 (*Pseudotsuga sinensis* Dode.)、丽江铁杉 (*Tsuga forrestii* Downie.) 等。

(3) 被《中国植物红皮书》收录的有 50 种, 占本区珍稀濒危植物的 19.08%。其中, 极危物种 1 种, 即银杏; 濒危物种 3 种, 有七子花 (*Heptacodium miconioides* Rehd.)、独花兰 (*Changnienia amoena* S. S. Chien.) 等; 易危种 13 种; 近危种 5 种; 无危种 28 种。

(4) 被《中国物种红色名录》收录的有 127 种, 占本区珍稀濒危植物的 48.47%。其中, 极危 (CR) 种 4 种, 即霍山石斛 (*Dendrobium huoshanense* C. Z. Tang et S. J. Cheng.)、银杏等; 濒危 (EN) 种 17 种; 易危 (VU) 种 30 种; 近危 (NT) 种 26 种; 无危 (LC) 种 50 种。

(5) 被《濒危野生动植物种国际贸易公约》(CITES)附录 I、II、III 收录的有 112 种, 占本区珍稀濒危植物的 42.75%。其中, 被附录 II 收录的有 111 种, 含红豆杉、南方红豆杉、桃儿七 (*Sinopodophyllum hexandrum* (Royle) Ying.),

以及106种兰科植物；被附录Ⅲ收录的有1种，即水青树(*Tetracentron sinense* Oliv.)。

(6)被《IUCN 濒危物种红色名录》收录的有173种，占本区珍稀濒危植物的66.03%。其中，极危种(CR)种7种，即曲茎石斛、霍山石斛、银杏、广东石斛、巫山堇菜(*Viola henryi* H. de Boiss.)、无髯猕猴桃(*Actinidia melanandra* var. *glabrescens* C. F. Liang.)、亮叶月季(*Rosa lucidissima* Levl.)；濒危(EN)种39种；易危(VU)种82种；近危(NT)种43种；无危(LC)种2种。

2.1.2 地理分布区类型

鄂西北珍稀濒危植物有149属，可划归入15个地理分布区类型(表1)。其中世界分布区类型有6属，占本区珍稀濒危植物总属数的4.1%；热带

表1 鄂西北珍稀濒危植物地理成分的分布区类型

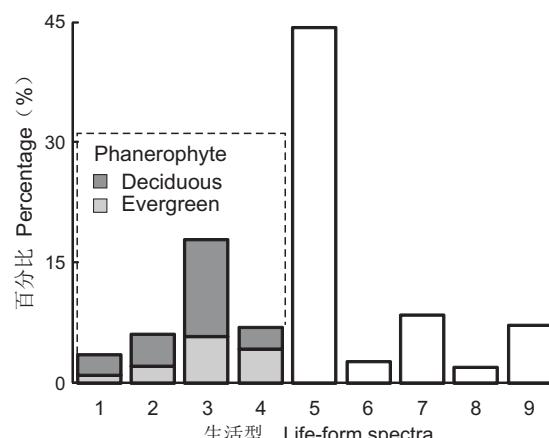
Table 1 Geographical component areal-types of rare and endangered plant species in northwest Hubei, China

分布区类型 Areal-type	属数 No. of genera	占总属数的比例 Percentage (%)
1. 世界分布 Cosmopolitan	6	4.1
2. 泛热带 Pantropic	7	4.7
3. 热带亚洲和热带美洲间断分布 Trop. Asia & Trop. Amer. disjuncted	5	3.4
4. 热带亚洲至热带大洋洲 Tropical Asia & Trop. Australasia	22	14.8
5. 热带印度至华南 Trop. India to S. China (esp. S. Yunnan)	1	0.6
6. 缅甸、泰国至华西南 Burma, Thailand to SW. China	10	6.7
7. 北温带 North temperate	28	18.7
8. 北温带和南温带(全温带)间断 N. Temp. & S. Temp. disjuncted ("Pan-temperate")	4	2.7
9. 欧亚和南美洲温带间断 Eurasia & Temp. S. Amer. disjuncted	2	1.4
10. 东亚和北美洲间断 E. Asia & N. Amer. disjuncted	13	8.7
11. 旧世界温带 Old World Temperate	10	6.7
12. 东亚(东喜马拉雅-日本) E. Asia	8	5.4
13. 中国-喜马拉雅(SH) Sino-Himalaya (SH)	5	3.4
14. 中国-日本(SJ) Sino-Japan (SJ)	7	4.7
15. 中国特有 Endemic to China	21	14.1
合计 Total	149	100

分布类型有45属，占30.2%；温带分布类型有57属，占38.2%；东亚分布20属，占总属数的13.5%；中国特有21属，占总属数的14.1%。从整体分布类型来看，本区珍稀濒危植物以北温带分布类型比例最高，占总属数的18.7%，其次为热带亚洲至热带大洋洲分布类型，占14.8%，具有过渡地带性。本区域特有珍稀濒危植物有竹山淫羊藿(*Epimedium zhushanense* K. F. Wu et S. X. Qian.)、鄂柃(*Eurya hupehensis* Hsu.)、神农架冬青(*Ilex shennongjiaensis* T. R. Dudley.)、巴东木莲等8种。中国特有珍稀濒危植物有银杏、秦岭冷杉(*Abies chensiensis* Tiegh.)、巴山榧树(*Torreya fargesii* Franch.)、巫山杜鹃(*Rhododendron roxieoides* Chamb.)、宣恩盆距兰(*Gastrophilus xuanenensis* Z. H. Tsai.)、四川槭(*Acer sutchuenense* Franch.)等39种。

2.1.3 生活型谱

从鄂西北珍稀濒危植物生活型来看，以高位芽和地上芽珍稀濒危植物为主体，分别占35.7%和44.24%；地下芽和藤本植物所占比例较少，分别为8.42%和7.14%；地面芽和一年生植物所占比例最少，分别为2.63%和1.87%(图3)。高位芽植物中，以小高位芽植物为主，占全部高位芽的51.57%，



1: 大高位芽植物；2: 中高位芽植物；3: 小高位芽植物；4: 矮高位芽植物；5: 地上芽植物；6: 地面芽植物；7: 地下芽植物；8: 一年生植物；9: 藤本植物。
1: Macrophanerophyte; 2: Mesophanerophytes; 3: Microphanerophyte; 4: Nanophanerophyte; 5: Chamaephyte; 6: Hemicyclopediae; 7: Geocryptophyte; 8: Therophyte; 9: Lignous.

图3 鄂西北珍稀濒危植物生活型谱
Fig. 3 Life-form spectra of rare and endangered plants in northwest Hubei, China

其中常绿植物 16 种, 落叶植物 33 种; 中高位芽和矮高位芽植物次之, 分别占全部高位芽的 17.89% 和 20.01%, 其中常绿植物分别为 6 种、12 种, 落叶植物分别为 11 种、7 种; 大高位芽植物最少, 占全部高位芽的 10.53%, 其中常绿植物 3 种, 落叶植物 7 种。在高位芽植物中, 常绿植物有 37 种, 占 38.96%, 而落叶植物有 58 种, 占 61.04%。从珍稀濒危植物地理成分与生活型分布来看, 热带分布类型的高位芽和温带分布类型的地上芽珍稀濒危植物在鄂西北地理分布范围最广, 鄂西北 8 个自然保护区均有分布, 而世界分布类型的地面芽植物地理分布范围较窄, 主要分布在漳河源自然保护区及万朝山自然保护区等, 其它地方零星分布。

2.2 珍稀濒危植物纵向(海拔)分布规律

对鄂西北海拔分布每 100 m 区段内的珍稀濒危植物的物种丰富度进行统计, 结果显示(图 4), 鄂西北地区珍稀濒危植物物种丰富度的峰值出现在 900 ~ 1700 m 区段。对物种丰富度与海拔高度的相关性进行曲线拟合发现, 物种丰富度与海拔高度存在显著的二次方程关系: $y = -0.5107x^2 - 12.43x + 7.3111 (R^2 = 0.7867, P = 0.04)$ 。在海拔 1300 m 以下, 随着海拔的上升, 每 100 m 海拔区段内的物种数不断增加, 而在海拔 1300 m 以上,

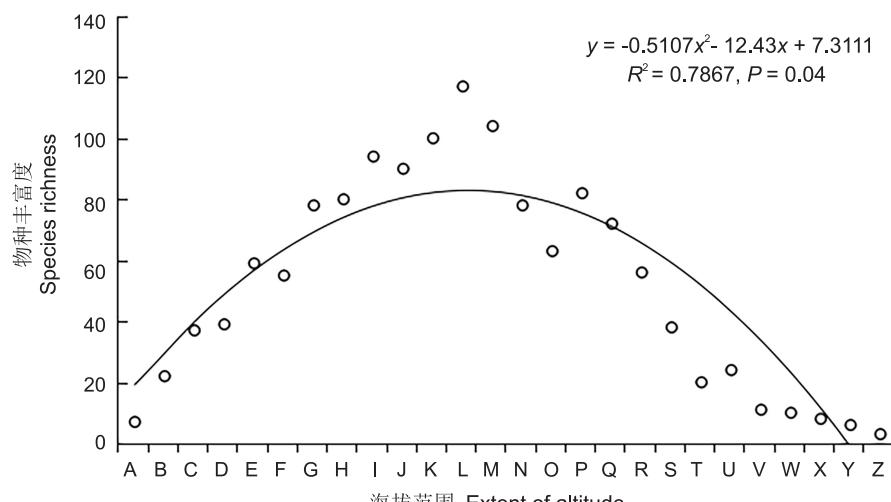
随着海拔的上升, 每 100 m 海拔区段内的物种数则开始持续降低。

2.3 空间尺度与多样性分析

对本区不同经纬度空间尺度下物种 Shannon-Wiener 多样性指数 (H_D)、均匀度指数 (E_D) 和 Margalef 多样性指数 (K_D) 的计算结果显示(图 5: a ~ c), H_D 、 E_D 、 K_D 随空间尺度的变化呈幂函数关系, 相关性系数分别为 $R^2 = 0.7303 (H_D)$ 、 $R^2 = 0.8858 (E_D)$ 、 $R^2 = 0.9805 (K_D)$ 。

(1) 由图 5: a 可见, 从 H_{D1} 到 H_{D2} , Shannon-Wiener 多样性指数增长最为明显, 增幅达到 1.68, 从 H_{D2} 到 H_{D5} 增长达到顶峰($H_{D5} = 4.93$), 至 H_{D8} 呈现缓慢上升趋势($H_{D8} = 4.88$)。总体来看, 随着空间尺度划分范围的扩大, H_{D2} 至 H_{D5} 覆盖到海拔较高的泛神农架及其南坡等植被丰富、人为干扰少的地带, H_D 值随之增大; H_{D5} 之后的空间范围覆盖到地势较低的低山丘陵地带, 物种空间分布主要在物种点的分布上, 而种数趋于平缓, 进而物种的空间分布也随之达到稳定状态。

(2) 由图 5: b 可知, 从 $E_{D1} (0.919)$ 至 $E_{D3} (0.898)$, 均匀度指数处于下降趋势, 至 $E_{D4} (0.901)$ 有一个小幅上升趋势, $E_{D5} (0.895)$ 至 $E_{D8} (0.872)$ 之后形成显著下降趋势。总体来看, E_{D4} 和 E_{D5} 出现的现象, 与 H_D 值的变化相近。说明随



A: 100 ~ 200 m; B: 200 ~ 300 m; C: 300 ~ 400 m; D: 400 ~ 500 m; E: 500 ~ 600 m; F: 600 ~ 700 m; G: 700 ~ 800 m; H: 800 ~ 900 m; I: 900 ~ 1000 m; J: 1000 ~ 1100 m; K: 1100 ~ 1200 m; L: 1200 ~ 1300 m; M: 1300 ~ 1400 m; N: 1400 ~ 1500 m; O: 1500 ~ 1600 m; P: 1600 ~ 1700 m; Q: 1700 ~ 1800 m; R: 1800 ~ 1900 m; S: 1900 ~ 2000 m; T: 2000 ~ 2100 m; U: 2100 ~ 2200 m; V: 2200 ~ 2300 m; W: 2300 ~ 2400 m; X: 2400 ~ 2500 m; Y: 2500 ~ 2600 m; Z: More than 2600 m.

图 4 珍稀濒危植物物种丰富度与海拔高度的关系
Fig. 4 Relationship between species richness and altitude

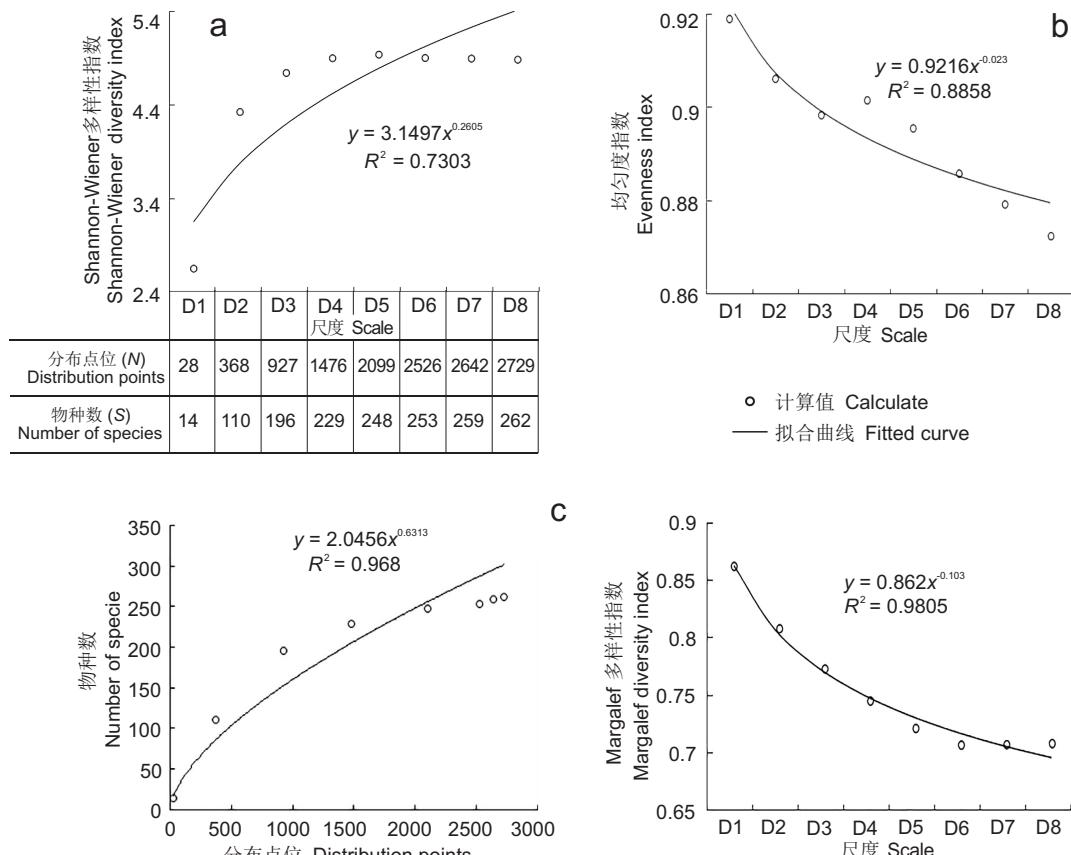


图 5 空间尺度多样性指数 (a: Shannon-Wiener 多样性指数; b: 均匀度指数; c: Margalef 多样性指数)
Fig. 5 Longitude-latitude species scale biodiversity indices (a: Shannon-Wiener index;
b: Evenness index; c: Margalef index)

着空间尺度范围的增大，物种数 (S) 和分布点位 (N) 也相应的增加，物种的空间分布发生变化，均匀度逐渐下降。

(3) 由图 5: c 可知，从 K_{D1} (0.861) 至 K_{D8} (0.702)，Margalef 多样性指数处于显著下降趋势。总体来看，随着空间尺度划分范围的增大， S 和 N 也相应增加，但 S 的增加比例远小于 N ，故 K_D 逐渐降低。

3 讨论

3.1 珍稀濒危植物分布格局成因

鄂西北地区珍稀濒危植物是“川东-鄂西特有现象中心”植物区系中的一个独特类群，其代表属以古老属居多^[35]，属的分布区类型以温带分布特别是北温带性质为主。而该区绝大多数北温带分布种属却并不出现于我国温带、暖温带区域，但却生长在本区亚热带山地生境中，特别是分布在北亚热带向暖温带过渡的山地常绿落叶阔叶混交林带，其中

落叶木本种类占有很高的比例，具有很强的古老孑遗性、特有性。从历史角度来看，这些古老的植物第三纪曾广布于北温带地区，第四纪冰川的作用是其分布区南移的根本原因。大巴山脉与荆山山脉是我国南部低山丘陵到西部高山及青藏高原的一级中间阶梯。该山脉既未遭受第四纪山地冰川的全面覆盖，也免于蒙古-西伯利亚大陆及反气旋与寒流的严重侵袭，却受到西南与东南季风的浸润和从热带、亚热带及暖温带等地迁徙而来的植物成分的补充而发育成丰富的植物区系，珍稀濒危植物也特别丰富。从鄂西北珍稀濒危植物的物种组成、地理分布区类型和生活型谱分析可知，这些地理分布区类型、生活型谱构成了北亚热带向暖温带过渡的森林植物生活型谱的基本特征，这与高贤明等^[36]在暖温带森林的研究结果基本一致，充分反映了该区域的珍稀濒危植物生活型谱与气候是十分吻合的，也反映出鄂西北地区珍稀濒危植物的分布具有地域过渡性和多样性，同时也印证了该区域北亚热带向暖

温带过渡的气候类型以及植物与环境的相互关系。

3.2 海拔对珍稀濒危物种空间分布的影响

在植物群落中,中海拔区段的物种多样性最大,这已被众多研究所证实^[13, 37]。对鄂西北地区珍稀濒危植物的分析同样符合这一规律。鄂西北地区珍稀濒危植物物种丰富度最大出现在900~1700 m海拔段,利用二次曲线拟合显示,珍稀濒危植物的物种丰富度与海拔分布范围具有显著的相关性。随着海拔梯度变化,必然会带来温度和降水的变化,在中等高度海拔段,温度变化和降水量适中,为这些珍稀植物的生长发育提供了适宜生境。

3.3 地理环境对珍稀濒危物种多样性分布的影响

多样性指数不仅能反映物种空间分布的丰富度,也能反映研究区地理环境的变化和差异。空间尺度或不同地域类型生境分化和隔离程度越高,物种分布点(N)和物种数(S)的增长比例越高,珍稀濒危植物物种空间的Shannon-Wiener指数(H_D)也就值越高,而均匀度指数(E_D)、Margalef指数(K_D)则越低,反之, H_D 值越低,则 E_D 值、 K_D 值越高。对鄂西北珍稀濒危植物物种多样性空间尺度分析可知, H_D 、 E_D 、 K_D 值的变化与该区域的地理环境变化呈现出一定的相关性。D1至D5的空间尺度范围基本囊括了本区植被类型丰富、人为干扰较小的泛神农架及其周边地带,物种数(S)增加较为明显,而物种分布点(N)增长趋缓, H_D 值呈幂函数增长,相应地 E_D 、 K_D 呈幂函数下降;D5之后的空间尺度范围覆盖到本区植被类型相对较少、人类经济活动强的低山丘陵及平原地带,物种空间分布主要在 N 的增加,而 S 的增加比例没有 N 高,则 H_D 逐渐降低, E_D 、 K_D 值缓慢回升。这很好地诠释了处于同一地域类型的空间尺度在地理环境上的连续性,而处于不同地域类型的空间尺度之间出现了地理环境的分化隔离。同时,空间尺度划分范围的不断扩大, H_D 、 E_D 、 K_D 值逐渐处于稳定状态,说明物种分布点与物种数量的增长达到了一个稳定的平衡点。

本研究在空间尺度划分上,由于没有考虑到经纬度坐标等大范围空间制成的平面坐标系所造成的误差,对空间尺度D1造成的影响大,再加上D1本身处于研究区范围的边缘地带,使D1的物种分布点所形成的结果不理想,导致丰富度较低。在物

种的空间分布点上,植物调查主要集中在鄂西北8个县的8个保护区中,保护区外的植物分布点只占18.4%,其主要来自于馆藏植物标本以及历史调查记录,造成了物种分布相对集中。由于加入了文献数据检索,使保护区内外均有物种分布点,但这仍然缺乏全面性。因此,在后续研究工作中,要继续加强植物调查的全面性和代表性,尽量完善数据量。

3.4 对该区珍稀植物的保护建议

物种多样性保护是全球关注的焦点,也是研究重点。珍稀植物是保护生物学的重要研究内容,如何协调好自然资源保护与社会经济发展的关系是保护物种多样性的关键。传统的物种多样性保护主要强调单物种的保护评级,而忽视其分布格局以及生存环境,物种多样性必须在更广泛的地域层次上进行。鄂西北地区地处北亚热带季风气候区,气候温和、降水充沛,植被资源丰富,自20世纪中叶以来因地方经济发展的需要,许多地方大量原始森林被砍伐,这是鄂西北珍稀濒危植物逐渐减少的主要原因;此外,当地居民采挖珍稀物种的现象屡见不鲜,这对珍稀濒危植物资源的保护也带来了极大的影响。建议相关部门从珍稀濒危植物分布格局与地理环境特性结合的角度加强保护管理,同时积极重视珍稀濒危植物的生境恢复,建立人工繁育基地,为珍稀濒危植物恢复提供基础。

参考文献:

- [1] Hubbell SP, Ahumada JA, Condit R, Foster RB. Local neighborhood effects on long-term survival of individual trees in a neotropical forest[J]. *Ecol Res*, 2001, 16(5): 859–875.
- [2] Wang XG, Wiegand T, Hao ZQ, Li BH. Species associations in an old-growth temperate forest in north-eastern China[J]. *J Ecol*, 2010, 98(3): 674–686.
- [3] He FL, Gaston KJ. Occupancy-abundance relationships and sampling scales [J]. *Ecography*, 2000, 23(4): 503–511.
- [4] Oindo BO, de By RA, Skidmore AK. Environmental factors influencing bird species diversity in Kenya[J]. *Afr J Ecol*, 2001, 39(3): 295–302.
- [5] Mace GM, Lande R. Assessing extinction threats: toward a reevaluation of IUCN threatened species categories[J]. *Conserv Biol*, 1991, 5(2): 148–157.
- [6] Mace GM, Collar NJ, Gaston KJ, Hilton-Taylor C, Akcakaya HR, Leader-Williams N, et al. Quantification of ex-

- inction risk: IUCN's system for classifying threatened species [J]. *Conserv Biol*, 2008, 22(6): 1424–1442.
- [7] 岳文泽, 徐建华, 谈文琦, 赵晶, 苏方林. 城市景观多样性的空间尺度分析: 以上海市外环线以内区域为例 [J]. 生态学报, 2005, 25(1): 122–128.
- Yue WZ, Xu JW, Tan WQ, Zhao J, Su FL. Spatial scale analysis of the diversities of urban landscape: A case study with in the external circle highway of Shanghai City [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(1): 122–128.
- [8] 洪伟, 林成来, 吴承祯, 何东进, 陈昆. 福建建溪流域常绿阔叶防护林物种多样性特征研究 [J]. 生物多样性, 1999, 7(3): 208–213.
- Hong W, Lin CL, Wu CZ, He DJ, Chen K. Research on species diversity of evergreen broad-leaved shelter-forests in Jianxi River Valley, Fujian [J]. *Biodiversity Science*, 1999, 7(3): 208–213.
- [9] Silvertown J, Law R. Do plants need niches? Some recent developments in plant community ecology [J]. *Trends Ecol Evol*, 1987, 2(1): 24–26.
- [10] Giladi I, Ziv Y, May F, Jeltsch F. Scale-dependent determinants of plant species richness in a semi-arid fragmented agro-ecosystem [J]. *J Veg Sci*, 2011, 22(6): 983–996.
- [11] Rahbek C. The role of spatial scale and the perception of large-scale-species-richness patterns [J]. *Ecol Lett*, 2004, 8(2): 224–239.
- [12] Storch D, Marquet PA, Brown JH. Scaling Biodiversity [M]. London: Cambridge University Press, 2007: 347–375.
- [13] 江明喜, 邓红兵, 蔡庆华. 神农架地区珍稀植物沿河岸带的分布格局及其保护意义 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(11): 1373–1376.
- Jiang MX, Deng HB, Cai QH. Distribution pattern of rare plants along riparian zone and its implication for conservation in Shennongjia area [J]. *Chinese Journal Applied Ecology*, 2002, 13(11): 1373–1376.
- [14] 孙珊, 黄贝, 武瑞东, 周汝良. 中国珍稀濒危保护植物物种丰富度空间分布格局 [J]. 云南地理环境研究, 2013, 25(1): 19–24.
- Sun S, Huang B, Wu RD, Zhou RL. The spatial distribution patterns of rare plants and endemic species in China [J]. *Yunnan Geographic Environment Research*, 2013, 25(1): 19–24.
- [15] 袁沫汐, 邹玲, 林爱文, 朱弘纪. 湖北省地区植被覆盖变化及其对气候因子的响应 [J]. 生态学报, 2016, 36(17): 5315–5323.
- Yuan MX, Zou L, Lin AW, Zhu HJ. Analyzing dynamic vegetation change and response to climatic factors in Hubei Province, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(17): 5315–5323.
- [16] 李翔, 侯璐, 李双喜, 李颖岳. 濒危树种庙台槭种群数量特征及动态分析 [J]. 植物科学学报, 2018, 36(4): 524–533.
- Li X, Hou L, Li SX, Li YY. Population quantitative characteristics and dynamic analysis of the endangered plant *Acer miaotaiense* [J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36(4): 524–533.
- [17] 彭乾乾, 汪正祥, 李亭亭, 熊斌梅, 杨启池. 湖北万朝山自然保护区珍稀濒危保护植物优先保护定量研究 [J]. 广西植物, 2017, 37(7): 859–867.
- Peng QQ, Wang ZX, Li TT, Xiong BM, Yang QC. Quantitative assessment of priority for rare and endangered plants in Wanchaoshan Nature Reserve of Hubei [J]. *Guizhou Forestry*, 2017, 37(7): 859–867.
- [18] 李兆华. 神农架野生珍稀濒危保护植物及其保护对策研究 [J]. 长江流域资源与环境, 1992, 1(1): 49–54.
- Li ZH. A study on the rare wild plant species in imminent danger in Mt. Shennongjia and the tactics for their conservation [J]. *Resources and Environment in The Yangtze Basin*, 1992, 1(1): 49–54.
- [19] 田凯, 汪正祥, 雷耘, 李中强, 潘磊, 李亭亭. 鄂西北六个自然保护区鱼类群落结构及多样性比较 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(3): 384–393.
- Tian K, Wang ZX, Lei Y, Li ZQ, Pan L, Li TT. Comparison of fish community structure and biodiversity among six nature reserves in Northwest Hubei, China [J]. *Resources and Environment in The Yangtze Basin*, 2017, 26(3): 384–393.
- [20] 刘寿坡. 湖北神农架山脉的森林土壤 [J]. 土壤通报, 1962(3): 15–27.
- Liu SP. Forest soil in the Shennongjia mountains of Hubei [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1962(3): 15–27.
- [21] 杨启池, 李亭亭, 汪正祥, 林丽群, 彭乾乾, 林邦俊, 郑成林. 神农架国家公园生态敏感性综合评价 [J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2017, 39(5): 455–461.
- Yang QC, Li TT, Wang ZX, Lin LQ, Peng QQ, Lin BJ, Zheng CL. Integrated assessment on ecological sensitivity for Shennongjia National Park [J]. *Journal of Hubei University (Natural Science)*, 2017, 39(5): 455–461.
- [22] 国家林业局, 农业部. 国家重点保护野生植物名录(第一批) [J]. 植物杂志, 1999(5): 4–11.
- [23] 国家环境保护局, 中国科学院植物研究所. 中国珍稀濒危保护植物名录 [J]. 生物学通报, 1987(7): 23–28.
- [24] 傅立国. 中国植物红皮书 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [25] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录: 第1卷 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [26] 中国科学院, 中华人民共和国濒危物种科学委员会. 濒危物种科学通讯 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.

- [27] International Union for Conservation of Nature. 2013 IUCN Red List of Threatened Species [M]. Oxford: Clarendon Press, 2013.
- [28] 王荷生. 植物区系地理 [M]. 北京: 科学出版社, 1992.
- [29] 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.
Wu ZY. The areal-types of Chinese genera of seed plants [J]. *Acta Botanica Yunnanica*, 1991(Sup. IV): 1-139.
- [30] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第1卷: 第1, 2, 3分册 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [31] 中国科学院武汉植物研究所. 湖北植物志 [M]. 武汉: 湖北科技出版社, 2002.
- [32] Raunkiaer C. The Life Forms of Plants and Statistical Plant Geography [M]. Oxford: Clarendon Press, 1934.
- [33] 杜华强, 汤孟平, 周国模, 徐文兵, 刘恩斌, 施拥军. 天目山物种多样性尺度依赖及其与空间格局关系的多重分形 [J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5038-5049.
Du HQ, Tang MP, Zhou GM, Xu WB, Liu EB, Shi YJ. Linking species diversity with spatial scale dependence to spatial patterns using multifractal analysis [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5038-5049.
- [34] 曹琳琳, 苏宝玲, 周旺明, 于大炮, 吴健, 毕建华, 黄利亚, 代力民. 长白山区典型植被类型物种多样性空间分布的尺度效应 [J]. 生态学杂志, 2017, 36(11): 3102-3108.
Cao LL, Su BL, Zhou WM, Yu DP, Wu J, Bi JH, Huang LH, Dai LM. Scale-dependent spatial variation of species diversity in typical vegetation types in Changbai Mountain, China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(11): 3102-3108.
- [35] 叶俊伟, 张阳, 王晓娟. 中国-日本植物区系中的谱系地理间断及其形成机制 [J]. 植物生态学报, 2017, 41(9): 1003-1019.
Ye JW, Zhang Y, Wang XJ. Phylogeographic breaks and the mechanisms of their formation in the Sino-Japanese floristic region [J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2017, 41(9): 1003-1019.
- [36] 高贤明, 陈灵芝. 植物生活型分类系统的修订及中国暖温带森林植物生活型谱分析 [J]. 植物学报, 1998, 40(6): 70-76.
Gao XM, Chen LZ. The revision of plant life-form system and an analysis of the life-form spectrum of forest plants in the warm temperate zone of China [J]. *Acta Botanica Sinica*, 1998, 40(6): 70-76.
- [37] Naiman RJ, Decamps H. The ecology of interfaces: Riparian zones [J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1997, 28: 621-658.

(责任编辑: 张平)