“中国山地植物物种多样性调查计划” 及若干技术规范

方精云 沈泽昊 唐志尧 王志恒

(北京大学环境学院生态学系, 北京大学生态学研究与教育中心, 北京大学地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871)

摘要: 我国是个多山的国家, 拥有丰富的生物多样性资源。为研究我国山地的植物物种多样性垂直格局及其地理分异, 北京大学自 20 世纪 90 年代中期开始, 实施了“中国山地植物物种多样性调查计划”(Peking University's Survey Plan for Plant Species Diversity of China's Mountains, 简称 PKU-PSD 计划)。

本文简要介绍该计划的主要研究内容、研究的山地以及野外调查和数据分析方法, 试图为同类研究提供参考。

关键词: 山地, 植物物种多样性, 垂直格局, 群落调查, 群落分析方法

中图分类号: Q948, Q151

文献标识码: A

文章编号: 1005 - 0094(2004)01 - 0005 - 05

The Protocol for the Survey Plan for Plant Species Diversity of China's Mountains

FANG Jing-Yun, SHEN Ze-Hao, TANG Zhi-Yao, WANG Zhi-Heng

Department of Ecology, College of Environmental Sciences, Center for Ecological Research & Education, and Key Laboratory for Earth Surface Processes of the Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871

Abstract: China is a mountainous country with rich biodiversity resources. To explore altitudinal patterns and geographic differentiation of plant species diversity in China's mountains, Peking University has begun the Survey Plan for Plant Species Diversity of China's Mountains (PKU-PSD Plan) since mid-1990s. This paper presents the PKU-PSD Plan's protocol, including the goals, research topics, mountain sites, and methodological standards for field surveys and data analysis.

Key words: mountain, plant species diversity, altitudinal patterns, community survey, methods for plant community analysis

中国是个多山的国家, 拥有丰富的生物多样性资源。尽管国内外对中国山地的生物多样性研究已有不少报道, 但这些研究往往采用不同的技术规范, 使不同研究结果之间的比较难以进行。为此, 基于统一的技术规范和方法论, 开展对我国山地物种多样性的大规模调查显得十分必要。

有鉴于此, 北京大学陆地生态系统研究小组于 20 世纪 90 年代中期确立了我国山地植物物种多样性调查计划 (Peking University's Survey Plan for Plant Species Diversity of China's Mountains, 简称 PKU-PSD 计划)。该计划提出, 以各类科研项目为

基础, 整合一切可以利用的财力、人力和技术资源, 用 8 - 10 年的时间, 完成我国主要山地的植物物种多样性的初步调查。北京大学在开展山地生物多样性研究方面具有较好的基础。如, 崔海亭在 20 世纪 80 年代初就发表了我国华北地区林线的研究 (Cui, 1984)。后来调到北京大学任教的方精云也于 90 年代初, 发表中国山地植物分布与气候关系的论文 (Fang & Yoda, 1990, 1991), 并对西藏、青海、海南等地的多个山地进行了实地调查 (方精云等, 1993)。1995 年, 由陈昌笃牵头负责的“中国生物多样性国情研究报告”项目聚集了全国各方面的力量, 不仅全

* 基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目 (编号: G2000046801) 和国家自然科学基金资助项目 (编号: 49971002)

收稿日期: 2003 - 06 - 12; 接受日期: 2003 - 09 - 10

作者简介: 方精云, 男, 1959 年出生, 教授, 主要研究方向为植被生态学和全球变化生态学。E-mail: jyfang@urban.pku.edu.cn

面推动了我国的生物多样性研究,也促进了 PKU-PSD 计划的实施。1997 年,PKU-PSD 计划正式启动,当年就对浙江、贵州等地的多个山地进行了野外调查。本文在介绍 PKU-PSD 计划的基础上,简要说明该计划的有关技术规范,旨在帮助读者了解本专辑中涉及的研究方法和技术路线。通过本文的介绍,也希望能为读者开展相关研究起一点借鉴作用。

1 PKU-PSD 计划的主要目的和研究内容

PKU-PSD 计划的主要目的是采用统一的植物群落调查方法,借助数量和空间分析手段(如多元统计分析、地统计学、地理信息系统、数字地形模型、遥感等),按一定的海拔间隔,调查主要植物群落的组成、结构及物种多样性特征,分析这些特征随海拔梯度的变化规律及其地理分异,验证有关的生物多样性理论,并在样方水平上讨论我国山地植被的特点。主要研究内容包括:

(1) 主要植物群落的结构、组成及区系成分以及它们随海拔的变化趋势;

(2) 主要植物群落的物种多样性特征及其随海拔的变化规律;

(3) 地形要素(如海拔高度、坡向、坡度、坡位等)对一些代表性山体的主要植物群落、植被类型以及多样性特征的影响;

(4) 若干代表性山体地下物种多样性(土壤种子库)特征;

(5) 若干植物种群(如冷杉、毛竹)和特定分类群(如壳斗科和水青冈属)的空间格局;

(6) 主要植物群落类型的结构和物种多样性特征的地理分异;

(7) 若干物种多样性假设或理论,如 Rapoport 纬度法则(Rapoport's Latitudinal Rule)(Rapoport, 1982; Stevens, 1992)、中度干扰假说(Connell, 1978; Molino & Sabatier, 2001)、种库假说(species pool hypothesis)(Taylor *et al.*, 1990; Pärtel, 2002; Peet *et al.*, 2003)的验证和讨论。

此外,对一些代表性山地,要进行小气候的连续观测。

2 山地的选择

研究山地的选择以涵盖我国南北各气候带和东

西方向各大地貌单元上的代表性山体为主要原则,并对过去研究不足的重要山地也予以补充。基于这一考虑,计划调查山地约 45 处(图 1)。目前,已完成 35 座山体的调查。计划调查的山地主要有:

寒温带:大兴安岭白卡鲁山、根河

温带:帽儿山、小兴安岭、张广才岭、长白山

暖温带:北京山地(松山,东灵山,喇叭沟门,延庆)、小五台山、五台山、秦岭山脉(伏牛山,太白山,小陇山)

亚热带:神农架、大别山、西天目山、牯牛降、武夷山、百山祖、乌岩岭、四海山、梵净山、雷公山、宽阔水、都庞岭、猫儿山、莽山、九顶山、峨眉山、金佛山、玉山

热带:尖峰岭

青藏高原、喜马拉雅和横断山脉:贡嘎山、高黎贡山、玉龙雪山、南迦巴瓦、普士拉、定日夏多、色季拉山、聂拉木

干旱区/半干旱区:贺兰山、祁连山、天山、阿尔泰山

此外,在青藏高原和内蒙古高原,已完成或即将完成约 200 个地点的草地群落调查。具体调查方法将另行介绍。

3 调查方法

3.1 样方设置原则

样方沿海拔梯度设置,以 50 - 100 m 高差为间隔。具体样方地点的设置原则为:选择相对均一的坡面,回避人为和自然干扰产生的迹地和大型林窗,选择林相整齐的群落。

3.2 样方面积与投影面积

乔木层样方面积一般为:20 m × 30 m (坡面面积)。

林下灌木层样方面积一般为:10 m × 10 m,样方 1 个,但记录整个样方(600 m²)的所有物种。

林下草本层样方面积一般为 1 m × 1 m,样方 5 个,分别设置在乔木层样方的 4 角和近中心位置。

因为坡度的影响,样方的平面面积(或投影面积, S')比样方面积(S)要小。因此,在数据分析时需要对方方面积进行坡度校正,得到投影面积,即:

$$S' = S \times \cos a$$

其中, a 为坡面坡度。

图 1 PKU-PSD 计划拟调查的主要山地(实心圆为已调查山地,空心圆为拟调查山地)
Fig. 1 Major mountains to be studied for the PKU-PSD Plan. Solid circles indicate completed investigations, while empty circles indicate future investigations
1, Baikalu Mountain; 2, Genhe; 3, Mao er Mountain; 4, Xiaoxingling Mountains; 5, Zhangguangcailing Mountains; 6, Changbai Mountain; 7, Dongling Mountain; 8, Songshan Mountain; 9, Xiaowutai Mountain; 10, Wutai Mountain; 11, Funiu Mountain; 12, Taibai Mountain; 13, Xiaolong Mountain; 14, Shennongjia Mountain; 15, Dabie Mountain; 16, Xitianmu Mountain; 17, Gurniujang Mountain; 18, Wuyi Mountain; 19, Daiyun Mountain; 20, Baishanzu Mountain; 21, Wuyanling Mountain; 22, Sihai Mountain; 23, Fanjing Mountain; 24, Leigong Mountain; 25, Kuankuoshui; 26, Dupangling Mountain; 27, Mao er Mountain; 28, Mangshan Mountain; 29, Jiuding Mountain; 30, Emei Mountain; 31, Jinpo Mountain; 32, Yushan Mountain; 33, Jianfengling Mountain; 34, Gongga Mountain; 35, Gaoligong Mountains; 36, Yulong Mountain; 37, Xishuangbanna; 38, Ailao Mountains; 39, Wuliang Mountains; 40, Nanjiabawa Mountain; 41, Pushila; 42, Sejila Mountain; 43, Zhangmu; 44, Helan Mountains; 45, Qilian Mountains; 46, Tianshan Mountains; 47, Tuomuer Mountain; 48, Altai Mountains

3.3 群落层次划分及测定因子

按乔木层、灌木层和草本层划分群落层次,进行测定、统计。

- 乔木层：测定 DBH ≥ 5 cm 的所有植株；
- 灌木层：测定所有 DBH < 5 cm 的木本个体,包括乔木幼苗和幼树；并记录整个样方中所出现的物种。
- 草本层：统计包括草质藤本和蕨类植物,但大型木质藤本按胸径大小分别计入乔木层或灌木层，并记录整个样方中所出现的物种。

测定的植物因子,依生活型不同而异,如：
乔木：种类、胸围、树高,并估测冠幅；
灌木：种类、丛数、基径和高度；

草本：种类、丛数、平均盖度和高度。
测定的环境因子主要包括：样地经度、纬度、海拔、坡向、坡位、坡度、土壤层厚度、林冠盖度、林窗状况以及人为干扰状况等。

3.4 样带调查与种 - 面积曲线

为准确地了解不同植被类型的群落结构,要求在主要植被类型中,设置一条水平方向的样带,长 100 - 250 m,宽 20 m,以 10 m × 10 m 为单元调查。
为得到主要植被类型的种 - 面积曲线,原则上要求采用巢式样方法(董鸣, 1996),对每个主要植被类型进行较大面积的样方调查。样方面积 2000 m² 以上。调查面积由 0.5 m × 0.5 m 开始,依次作 0.25 m² (50 cm × 50 cm), 0.5 m² (0.5 m × 1 m), 1 m²

(1 m × 1 m), 2 m² (2 m × 1 m), 4 m² (2 m × 2 m) 的样方 ..., 以此类推。

3.5 土壤和凋落物调查

土壤调查: 每间隔 200 m 高度挖掘土壤剖面 1 - 2 个, 按土壤普查要求, 记录土壤剖面特征; 用 100 cm³ 的土壤环刀, 分别按 0 - 10 cm、10 - 20 cm、20 - 40 cm、40 - 60 cm、60 - 80 cm、80 - 100 cm、100 cm 的土壤深度分层取样, 用于土壤的理化分析。

凋落物调查: 在一些代表性山地, 要进行凋落物调查。调查与土壤调查同步进行, 即每间隔 100 - 200 m 高度, 作 5 m × 5 m 样方 3 - 5 个, 收集其中的凋落物, 按不同粗度级取样、称重, 并记录分解状况。

3.6 优势木树芯测定

对某些样方, 需对个体进行年龄测定。在混交林中, 每种优势种取树芯 5 株以上, 而纯林则取 25 株以上。

3.7 温湿度测定

在一些代表性的山地, 按 100 - 200 m 的海拔间隔, 于距地面 1.5 m 处, 分别放置简易温湿度自动记录仪, 以测定不同海拔高度的温度、湿度, 用于分析它们的垂直分布、季节变化以及物种分布的关系。记录仪的放置应避免阳光直射、河流以及裸岩等因素的影响。

4 数据处理

4.1 物种鉴定

植物鉴定工作尽可能在野外进行。为此, 每处山地的调查, 都寻求当地植物分类学家的协助。对不能在当地鉴定的种类, 带回北京, 请相关科属专家鉴定。

4.2 重要值的计算

重要值 (IV) 是一个重要的群落定量指标, 它的计算式为 (宋永昌, 2002):

$$IV (\%) = (\text{相对多度} + \text{相对频度} + \text{相对优势度}) / 3。$$

其中, 相对多度 (%) = 100 × 某个种的株数 / 所有种的总株数;

相对频度 (%) = 100 × 某个种在统计样方中出现的次数 / 所有种出现的总次数;

相对优势度 (%) = 100 × 某个种的胸高断面积 /

所有种的胸高断面积之和。

有些样地的乔木层, 直接用相对优势度 (相对胸高断面积) 来表示重要值。

4.3 物种多样性测度方法

生物多样性指数繁多, 国内外都有大量的讨论和说明 (Whittaker, 1972; Magurran, 1988; 马克平, 1994; Spellerberg & Fedor, 2001; Veech *et al.*, 2002)。为避免歧义, PKU-PSD 计划统一使用如下测度:

(1) 物种丰富度 (S)

S = 出现在样地内的物种数

(2) 多样性测度 (Magurran, 1988)

Shannon-Wiener 指数: $H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$

Pielou 指数 (均匀度指数): $E = H / \ln S$

Simpson 指数 (优势度指数): $P = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$

其中: P_i 为种 i 的相对胸高断面积或重要值 (IV)。

(3) 多样性测度 (Whittaker, 1972; Magurran, 1988)

Sorensen 指数: $SI = \frac{2c}{a+b}$

Jaccard 指数: $C_J = \frac{c}{a+b-c}$

Cody 指数: $c = \frac{g(H) + l(H)}{2} = \frac{a+b-2c}{2}$

其中, a 和 b 分别为两群落的物种数, c 为两群落的共有物种数, $g(H)$ 为沿生境梯度 H 增加的物种数, $l(H)$ 为沿生境梯度 H 失去的物种数。

上述指数中, Sorensen 指数和 Jaccard 指数反映群落或样方间物种组成的相似性; Cody 指数则反映样方物种组成沿环境梯度的替代速率。

4.4 聚类与排序

根据物种的重要值, 用二元指示种划分方法 (TWINSPAN) (Hill, 1979) 或基于 Sorensen 指数的可变法 (Flexible beta method) (McCune & Grace, 2002) 对群落进行分类;

排序分析利用群落 - 物种重要值矩阵, 和海拔、坡度、坡向等变量构成的环境因子矩阵, 进行 NMDS 分析 (Nonmetric Multi-dimensional Scaling) (McCune & Grace 2002) 或典范对应分析 (CCA) (Ter Braak, 1986)。

上述分析由 PC-ORD 软件或 CANOCO 软件实现。

4.5 地形图、DEM 与遥感影像解译

对一些代表性的山地,要进行地形与植被关系的空间分析。为此,收集研究区合适比例尺的地形图,利用地理信息系统软件 ERDAS (ERDAS, Inc) 和矢量化软件(方正智绘)等进行数字化,建立数字高程模型(DEM),提取不同坡度、坡向、高程的面积等地形信息。

另外,利用美国陆地资源卫星 5 号或 7 号 (LANDSAT-5, 7) 的 TM 遥感影像资料,分析研究区的植被类型,为物种多样性分析提供背景资料。

参考文献

- Chen, C. D. (陈昌笃) (ed.). 1997. *China's Biodiversity: A Country Study*. China Environmental Science Press (环境科学出版社), Beijing. (in Chinese)
- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, **199**: 1302 - 1310.
- Cui, H. T. 1984. On the demarcation of alpine and subalpine zones in North China. *Chinese Science Bulletin*, **29**: 789 - 793.
- Dong, M. (董鸣). 1996. *Survey, Observation and Analysis of Terrestrial Biocommunities*. Standards Press of China (中国标准出版社), Beijing. (in Chinese)
- Fang, J. Y. and Yoda, K. 1990. Climate and vegetation of China. IV. Distribution of tree species along the thermal gradient. *Ecological Research*, **5**: 291 - 302.
- Fang, J. Y. and Yoda, K. 1991. Climate and vegetation of China. V. Effects of climate factors on the upper limit of distribution of evergreen broadleaf forest. *Ecological Research*, **6**: 113 - 125.
- Fang, J. Y. (方精云), Liu, G. H. (刘国华) and Zhang, S. H. (张舒环). 1993. Growth characteristics of *Pinus tabulaeformis* populations in their western distribution limits. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica* (植物生态学与地植物学学报), **17**: 305 - 316. (in Chinese)
- Hill, M. O. 1979. *TWINSPAN—A FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two-way Table by Classification of the Individuals and Attributes*. Cornell University, Ithaca, N. Y.
- Ma, K. P. (马克平). 1994. The measurement of community diversity. In: Qian, Y. Q. (钱迎倩) and Ma, K. P. (马克平) (eds.), *Principles and Methodologies of Biodiversity Studies* (生物多样性研究的原理与方法). China Science and Technology Press, Beijing, 141 - 165. (in Chinese)
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Princeton University Press, New Jersey.
- McCune, B. and Grace, J. B. 2002. *Analysis of Ecological Communities*. MjM Software Design, Oregon, USA.
- Molino, J. F. and Sabatier, D. 2001. Tree diversity in tropical rain forests: a validation of the intermediate disturbance hypothesis. *Science*, **294**: 1702 - 1705.
- Portel, M. 2002. Local plant diversity patterns and evolutionary history at the regional scale. *Ecology*, **83**: 2361 - 2366.
- Peet, R. K., Fridley, J. D. and Gramling, J. M. 2003. Variation in species richness and species pool size across a pH gradient in forests of the Southern Blue Ridge Mountains. *Folia Geobotanica*, **38**: 391 - 401.
- Rapoport, E. H. 1982. *Areography: Geographical Strategies of Species*. Vol. 1. (1st English edn.) B. Drausal, trans. Pergamon, New York.
- Spellerberg, I. F. and Fedor, P. J. 2001. A tribute to Claude Shannon (1916 - 2001) and a plea for more rigorous use of species richness, species diversity and the Shannon-Wiener index. *Global Ecology and Biogeography*, **12**: 177 - 179.
- Stevens, G. C. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American Naturalist*, **140**: 893 - 911.
- Song, Y. C. (宋永昌). 2002. *Vegetation Ecology* (植被生态学). East China Normal University Press, Shanghai.
- Ter Braak, C. J. F. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, **67**(5): 1167 - 1179.
- Veech, J. A., Summerville, K. S., Crist, T. O. and Gering, J. C. 2002. The additive partitioning of species diversity: recent revival of an old idea. *Oikos*, **99**: 3 - 9.
- Whittaker, R. H. 1972. Evolution of measurement of species diversity. *Taxon*, **21**: 213 - 251.

(责任编辑: 时意专)