

海南岛成土母质的地形多样性分析*

张学雷 陈杰 张甘霖 檀满枝

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

Juan José Ibáñez

(Centro de Ciencias Medioambientales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 28006 Spain)

摘要 多样性指数、多度分布模型等统计手段长期以来在生态学领域被用于分析不同生态体的发生规律。本研究中将类似手段用于地形多样性(作为地多样性的研究案例)分析中,讨论基于海南岛土壤—地形体数字化数据库(SOTER),通过对不同成土母质上地形类别的丰富度指数(S)、多样性指数(Shannon 指数 H')和均匀度指数(Pielou E)的计算,不同成土母质上地形类别多度分布模型的建立与应用,进而在地理信息系统环境中实现海南岛不同成土母质的地形多样性分析的数字化表达。

关键词 海南岛; SOTER 数据库; 地形多样性; 指数; 多度分布模型; GIS 空间分析

中图分类号 O236

文献标识码 A

多年以来,生物多样性的测度十分普遍^[1],然而地多样性(Geodiversity)(如地质构造单元、地形单元、沉积物、矿物、岩石、化石以及土壤等)的测度相比之下却鲜有进展,这些方面的研究内容一定是丰富的,而且应该被认知。因为进行地多样性测度对研究地球的地质历史、发展过程及其模拟、气候与景观的变迁和生命的起源与进化皆有重要意义。最近,地球科学家开始涉足与生物学家相似的问题,如种类的多样性指数的表达、多度模型的分布规律等。与生物多样性研究领域不同,在研究地多样性的时候,定量化的方法难以确定。西班牙人的新近研究^[2,3],试图通过制定自然或半自然(Semi-natural)土壤保护的科学指标,来影响整个欧洲保护生物与土壤多样性的政策。由于这些不可更新的自然资源具有定性和量化地反映景观生态系统的结构,在评估某一疆域生态值的时候,需要考虑诸多方面地多样性(如地形多样性、岩石多样性和土壤多样性)的特征化与量化。同时,这也为研究不同地区环境下生态环境结构及其定量化开辟了新的途径^[4]。

此前,我们已经将包括土壤多样性、地形多样性在内的地多样性理论与方法介绍到中国^[5],并且在海南 SOTER 数据库雏形和山东省 1:100 万 SOTER 数据

库支持下,进行了探索性研究^[6,7]。目前,我们在新版海南 SOTER 数据库的支持下,对海南省诸如成土母质、地形和土壤^[8]等地学要素的多样性特点进行多方位、多层次的分析研究,本文为部分研究结果。

1 材料与方法

1.1 研究区域

海南岛位于中国南部,面积 3.4 万 km²,人口 724 万,行政区划上是一个年轻的省份。然而由于地处热带地区,各自然要素的发育演化趋向成熟与彻底(如土壤发育至富铁土、铁铝土),自然环境条件多样性之丰富给人们留下深刻印象。气候属于热带季风型,年均温 22℃~26℃,年均降水东部约 2 000 mm、西部约 1 000 mm。

1.2 数据

数据源自海南省 SOTER 数据库,对有属性数据库连接的 SOTER 图斑进行有关数据的提取、计算、模型跟踪以及 GIS 空间分析。SOTER 是土壤—地体数字化数据库(Soil and Terrain Digital Databases)的简写,是新近发展起来的一种集地形地貌、地质状况和土壤类型及属性于一体的计算机化的现代制图方

* 国家自然科学基金“基于土壤多样性理论的土壤空间可变性研究”(40171044)资助

作者简介:张学雷(1960~),男,江苏沛县人,博士,副研究员,主要从事土壤资源、信息系统研究。XLZhang@issas.ac.cn

收稿日期:2003-02-06;收到修改稿日期:2003-04-08

法。SOTER 方法论的基础是, 通过系统划分具有明确定义和常常重复出现的自然地理区域, 利用现代信息技术, 建立一个包括数据化的地图单元和它的属性数据的土壤—地体数据库。SOTER 方法以地形、岩性和土壤作为三类基础数据, 划分“均一”的地形—岩性—土壤单元, 即 SOTER 单元, 单元的空间关系由 GIS 管理。相应地, 每一个 SOTER 单元都包含全面的地形、岩性、土壤信息, 共 118 个属性, 这些数据以关系型数据库进行管理, 它们包括: 地体、地体组分、地体组分数据、土壤组分、剖面、发生层数据库等 6 个子库, 通过特定的标识码连接。

1.3 分析方法

主要分析方法是对不同成土母质上包含不同地形信息的 SOTER 单元的丰富度指数、多样性指数和均匀度指数的计算, 不同成土母质上地形类别多度分布模型的建立与应用, 进而在地理信息系统环境中实现海南岛不同成土母质上地形多样性分析的数字化表达。

2 结果与讨论

2.1 多样性指数的计算与分析

与生物多样性分析相似, 我们选用丰富度指数

S (在我们的研究中, 指不同成土母质上包含不同地形信息的 SOTER 单元的数目)、 E 均匀度指数 (Pielou 指数, 指不同成土母质上不同地形信息的 SOTER 单元出现的比例) 和多样性指数 H' (Shannon 指数)^[9] 进行有关计算。

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

式中, H' 是 Shannon 指数, p_i 通过 n_i/N 而得, n_i 是被第 i 包含特定地形信息的 SOTER 单元的数目或面积, N 是某种成土母质 SOTER 单元的总数目或总面积。观测 H' 值和其最大值 H'_{\max} (所有包含不同地形信息的 SOTER 单元等概率出现时的 H' 值) 的关系被用来计量均匀指数 E (即 Pielou 均匀指数), 它用于表征不同成土母质区域内地形类别分布的均衡程度:

$$E = H' / H'_{\max} = H' / \ln S$$

式中, S 为地形类别丰富度, E 取值范围为 0 至 1 之间。

根据包含特定地形信息的 SOTER 单元计算出以上三个指数, 以 H'_1 、 H'_2 、 E_1 、 E_2 和 S_1 、 S_2 表示, 脚注 1、2 分别指以 SOTER 数目和面积为基础计算, 结果如表 1。

表 1 地形多样性指数 H' 、丰富度指数 S 和均匀度指数 E 的计算结果

Table 1 Geomorphic diversity indices calculated by the number or area of the related SOTER units

成土母质类型 Parent materials	H'_1	H'_2	E_1	E_2	S_1	S_2
酸性火成岩风化物 IAA acid igneous	1.78	1.56	0.81	0.71	9	9
基性火成岩风化物 IB Basic igneous	0.67	0.61	0.61	0.56	3	3
酸性变质岩风化物 MA Acid metamorphic	1.58	1.62	0.81	0.83	7	7
第三、四纪沉积物 N-Q Neogene Quaternary	0.00	0.00	0.00	0.00	1	1
碎屑沉积岩风化物 SC Clastic sediments	1.66	1.46	0.80	0.70	8	8
冲积物 UF Fluvial	0.57	0.54	0.52	0.49	3	3
海积物 UM Marine	0.14	0.18	0.20	0.25	2	2
火山堆积物 UP Pyroclastic	0.00	0.00	0.00	0.00	1	1

从表 1 和图 1a、图 1b 中, 可以看到:

(1) 不同成土母质上包含不同地形信息的 SOTER 单元的丰富度指数 S 值相差较大, 母质 IA (酸性火成岩风化物) 上地形类别最多, 有 9 种; 最少的成土母质为 N-Q (第三、四纪沉积物) 和 UP (火山堆积物), 地形类别都只有 1 种。其他类型成土母质上地形类别的丰富度界于这两者之中。

(2) 显然, 不同成土母质上包含不同地形信息的 SOTER 单元的均匀度指数 (E) 和多样性指数

(Shannon 指数 H') 呈现相似的分异规律。均匀度指数按 SOTER 单元的个数和面积, 从大到小依次为, 酸性变质岩风化物、酸性火成岩风化物、碎屑沉积岩风化物、基性火成岩风化物、冲积物、海积物、第三、四纪沉积物到火山堆积物; 多样性指数按 SOTER 单元的个数, 从大到小依次为酸性火成岩风化物、碎屑沉积岩风化物、酸性变质岩风化物、基性火成岩风化物、冲积物、海积物、第三、四纪沉积物到火山堆积物, 按 SOTER 单元的面积则为酸性变质岩风化物、

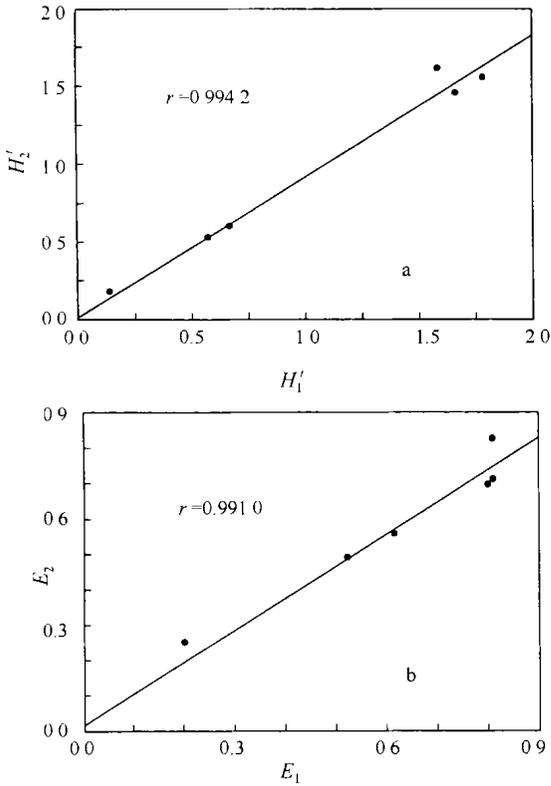


图1 以 SOTER 数目和面积为基础所得 H' 和 E 值的线性相关分析

Fig 1 Linear fitness of the indices H' and E calculated by the number and the area of the related SOTER units

酸性火成岩风化物、碎屑沉积岩风化物、基性火成岩风化物、冲积物、海积物、第三、四纪沉积物到火山堆积物。这说明,酸性变质岩风化物上地形分布的比例最为均一,第三、四纪沉积物到火山堆积物呈现相反的情况。

(3) 图 1a、图 1b 得知,不同成土母质上包含不同地形信息的 SOTER 单元的均匀度指数 E 值和多样性指数 H' 值,按 SOTER 单元个数和面积计算所得的两组数据之间呈现良好的线性相关性,相关指数 r 值都大于 0.99,说明选定包含不同地形信息的 SOTER 单元作为计量单位是可行的。

2.2 不同成土母质上包含地形信息的 SOTER 单元多度分布模型分析

在生态学研究,物种单元多度分布模型常被使用^[10, 11],如几何分布模型(Geometric Series Model)、断棒分布模型(Broken stick Model)等。通过试验,作为这几个模型混合物(A mixture of several models)的对数正态模型(Lognormal Model)适用我们的数据。

单位长度被任意选点截断成 2 段,在第二段上再被任意选点截断成 2 段,这样得到的 3 段再按照上述做法被任意截断下去,依次类推所得到的所有线段的长度分布符合对数正态模型^[12]。在生态学中,对数正态模型被解释为,在一个多物种环境资源的群社中,所有物种按上述规律划分,每一个种类按照其在整个物种环境资源的份额出现,所有种类的多度分布即符合对数正态模型。此方法也曾在土壤学领域中被用于模拟土壤聚集体(Aggregates)和颗粒(Particle size)的组成^[13]。

对数正态模型的数学涵义,可用方程表示:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left\{-\frac{(\log x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right\}$$

式中 μ_y 和 σ_y 分别是随机变量平均值(Random variable mean)和 $y = \log x$ 的标准方差(Standard deviation)。

参数 γ 也被用来表征此分布:

$$\gamma = \frac{\sigma_y \log 2}{\sqrt{2 \log S_T - \log(2\pi\sigma_y^2)}}$$

式中 S_T 种类总数(Total number of taxa),当此参数等于 1 时,被称为规范对数正态分布(Canonical lognormal distribution)。

我们使用“物种多样性和丰富度”软件(Species Diversity and Richness, version 2.6, P. A. Henderson, 1998)来输入数据库、计算 3 种指数和多度分布模型的应用。

首先,要建立模型运行所需数据集(表 2),可用 Microsoft Excel 或其他数据库软件完成。

其次,模型运行后给出不同成土母质上包含不同地形信息的 SOTER 单元,表 3 列出了以母质 IA 酸性火成岩风化物为例的多度的观测值(Observed)和理想值(Expected),它们被排列成多度等级,每一个等级的上限值(Upper bound of each class)也同时给出。如符合低于上限值 128.5(高于上一个上限值 64.5)的各地形类别有 LP102、SH66 和 SP68 三个出现,所以第 7 个多度等级地形类别的出现频率为 3。

最后,模型还给出了观测值和理想值之间的卡方(Chi Squared)检验结果, p 值 0.7046 显示母质 IA(酸性火成岩风化物)上地形(SOTER 单元)多度分布的显著差异在 70.46% 的水平上,从而确认,我们的数据集符合对数正态模型。

2.3 利用地理信息系统进行空间分析与表达

用地理信息系统软件 Arcview^[14],可以方便地显示不同成土母质上包含不同地形信息的 SOTER 单元的各种属性(ID 码、数目、地理位置、面积等)^[15, 16],图 2

表 2 从 SOTER 数据库中提取的用于模型运行的数据集

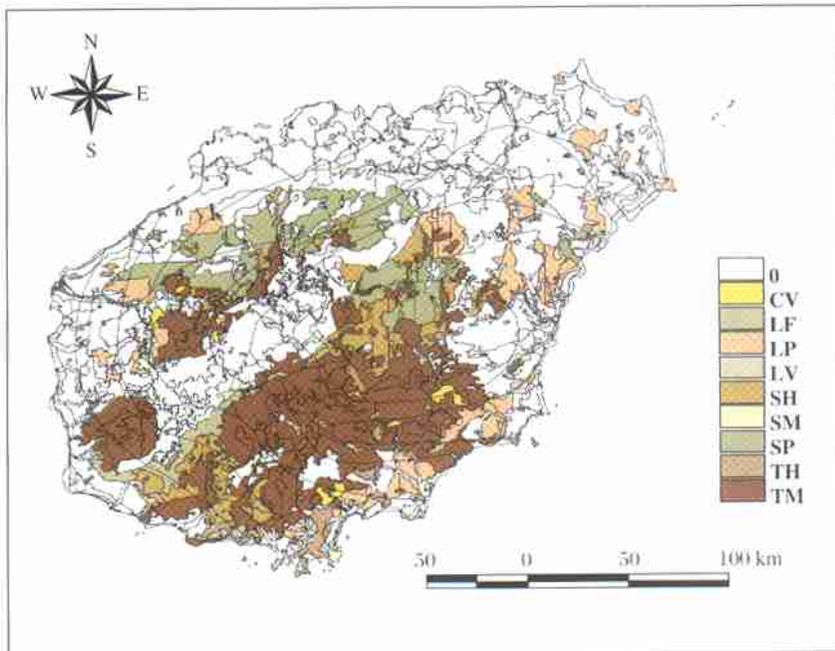
Table 2 Data set collected from SOTER databases for modeling

地形 Landforms	成土母质 Parent materials							
	IA	IB	MA	N-Q	SC	UF	UM	UP
谷地 CV Valley	27	0	1	0	4	4	0	0
低坡度坡麓 LF Low gradient footslope	29	0	24	0	20	0	0	0
平原 LP Plain	102	40	25	1	27	81	181	8
谷底 LV Valley floor	9	0	1	0	0	14	0	0
中坡度丘陵 SH Medium gradient hill	66	5	40	0	14	0	0	0
中坡度山地 SM Medium gradient mountain	3	0	0	0	6	0	0	0
切割平原 SP Dissected plain	68	6	18	0	13	0	6	0
高坡度丘陵 TH High gradient hill	48	0	55	0	13	0	0	0
高坡度山地 TM High gradient mountain	216	0	0	0	83	0	0	0

表 3 母质 IA(酸性火成岩风化物)上地形多度分布

Table 3 The observed and expected abundances of SOTER units for the parent material IA

多度等级 Abundance class	上限值 Upper bound	观测值 Observed	理想值 Expected	多度等级 Abundance class	上限值 Upper bound	观测值 Observed	理想值 Expected
1	2.5	0	0.172 4	5	32.5	2	1.759 5
2	4.5	1	0.309 7	6	64.5	1	1.850 2
3	8.5	0	0.705 5	7	128.5	3	1.470 7
4	16.5	1	1.270 7	8	256.5	1	1.461 3



CV: 谷地 Valley; LF: 低坡度坡麓 Low gradient footslope; LP: 平原 Plain; LV: 谷底 Valley floor; SH: 中坡度丘陵 Medium gradient hill; SM: 中坡度山地 Medium gradient mountain; SP: 切割平原 Dissected plain; TH: 高坡度丘陵 High gradient hill; TM: 高坡度山地 High gradient mountain

图 2 海南岛母质 IA 酸性火成岩风化物上各种地形类别 (图例 0 为其他成土母质及相应的地形类别)

Fig 2 Map of the SOTER units relating to different landforms for the parent material IA in Hainan Island (Legend 0 represents all other parent materials and their related landforms)

显示的是母质 IA 酸性火成岩风化物上地形类别的特点。在该软件的图例编辑工具(Legend edit tool)中,可以得到统计结果:在 1 443 个图斑中,符合母质 IA 酸性火成岩风化物上的地形类别有 9 种,共计 568 个 SOTER 单元。

3 结 论

多样性指数、多度分布模型等统计手段长时间以来应用在生态学领域,本研究中将类似手段用于地形多样性(作为地多样性的研究范例)分析中,讨论基于海南岛土壤—地形体数字化数据库(SOTER),通过对不同成土母质上地形类别的丰富度指数(S)、多样性指数(Shannon 指数 H')和均匀度指数(Pielou E)的计算,不同成土母质上地形类别多度分布模型的建立与应用,进而在地理信息系统环境中实现海南岛不同成土母质地形多样性分析的数字化表达。研究表明,上述研究路线具有可操作性,几种多样性指数和多度分布模型的建立可以较好地反映不同成土母质上地形类别的空间变异特点,从而说明选取 SOTER 单元作为地形多样性的测度单元是可行的。除本文研究的结论外,我们还计算了海南岛不同成土母质上土壤多样性、不同地形上成土母质多样性及土壤多样性、以及不同土壤类型上母质多样性和地形多样性等,它们共同组成了研究区域地多样性的特点,对保护环境多样性提出有趣而且重要的研究课题。

致 谢 本研究计算数据来源于海南岛 SOTER 数据库,该数据库由中国科学院南京土壤研究所、中国热带农业科学院和国际土壤信息参比中心在联合国发展计划署项目(UNDP Project CPR/96/105/A99)资助下合作完成。

参 考 文 献

[1] Rosenzweig M L. Species diversity in space and time. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995. 436

[2] Ibáñez J J, De Alba S, Bemúdez, *et al.* Pedodiversity concepts and tools. *Catena*, 1995, 24: 215~ 232

[3] Ibáñez J J, De Alba S, Boixadera J. The pedodiversity concept and its measurement: Application to soil information systems. *In*: King D, Jones R JA, Thomasson A J. eds. European Land Information System for Agror environmental Monitoring. JRC, EU, Brussels,

1995. 181~ 195

- [4] Ibáñez J J, Saldaña A, De Alba S. In Discussion of: J J Ibáñez, S De Alba A Lobo, *et al.* Pedodiversity and global soil patterns at coarser scales. *Geoderma*, 1998, 83: 206~ 214
- [5] Chen J, Zhang X L, Gong Z T, *et al.* Pedodiversity: A controversial concept. *The Journal of Chinese Geography*, 2001, 11(1): 110~ 116
- [6] 陈杰, 张学雷, 赵文君, 等. 土壤多样性及其测度—以海南岛不同母质上发育的土壤为例. *地理科学*, 2001, 21(2): 151~ 156. Chen J, Zhang X L, Zhao W J, *et al.* Pedodiversity and its measurement: A case study of Hainan Province focused on parent rock dependent soil variability (In Chinese). *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(2): 151~ 156
- [7] 檀满枝, 张学雷, 陈杰, 等. SOTER 数据库支持下以地形为基础的土壤多样性的分析—以山东省为例. *土壤通报*, 2003, 34(2): 85~ 89. Tan M Z, Zhang X L, Chen J, *et al.* Analysis of pedodiversity based upon the provincial SOTER database—A case study of Shandong Province (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 34(2): 85~ 89
- [8] Zhang X L, Chen J, Zhang G L, *et al.* Pedodiversity analysis in Hainan Island, China. *The Journal of Geographical Sciences*, 2003, 13(2): 244~ 249
- [9] Pielou E C. *An Introduction to Mathematical Ecology*. New York: Wiley, 1969. 286
- [10] May R M. Patterns of species abundance and diversity. *In*: Cody M L, Diamond J M. eds. *Ecology and Evolution of Communities*. Cambridge, MA: Harvard Univ. Press, 1975. 81~ 120
- [11] Tokeshi M. Species abundance patterns and community structure. *Advances in Ecological Research*, 1993, 24: 111~ 186
- [12] Kolmogorov A N. Über das logarithmisch normale Verteilungsgesetz der Dimensionen der Teilchen bei Zerstückelung. *Doklady Akademii Nauk SSSR*, 1941, 31: 99~ 101
- [13] Hatch T. Determination of average particle size from the screen analysis of non uniform particulate substances. *J. of the Franklin Institute*, 1933, 207: 369~ 388
- [14] Zhang X L, Mantel S, Zhang G L, *et al.* Exploring suitability for tropical crop cultivation in Hainan Island by SOTER methodology. *The Journal of Geographical Sciences*, 2001, 11(4): 420~ 426
- [15] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. SOTER 支持下 ALES 模型对海南省热带作物适宜性评价研究. *地理科学*, 2001, 21(4): 344~ 349. Zhang X L, Zhang G L, Gong Z T. Evaluation for some tropical crops in Hainan Province by using ALES based upon HaiSOTER (In Chinese). *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(4): 344~ 349
- [16] 张学雷, 张甘霖, 龚子同. 海南岛土壤质量的指标与量化表达研究. *应用生态学报*, 2001, 12(4): 549~ 552. Zhang X L, Zhang G L, Gong Z T. Indexing system and its quantitative expression for soil quality evaluation in Hainan Island (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, 12(4): 549~ 552

SOIL PARENT MATERIAL BASED GEOMORPHIC DIVERSITY IN HAINAN ISLAND, CHINA

Zhang Xuelei Chen Jie Zhang Ganlin Tan Manzhi

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

Juan José Ibáñez

(*Centro de Ciencias Medioambientales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid 28006, Spain*)

Abstract Diversity indices and abundance distribution models are statistical tools which ecologists have applied for decades for analyzing the intrinsic regularities of various ecological entities. In this work, similar techniques are used to analyze geomorphic diversity (as an example of geodiversity in a broad sense), and discussions are conducted on the basis of the SOTER digital databases of Hainan Island, China. Through calculation of indices of richness (S), indices of diversity (H') and indices of evenness (E) of landform categories of soil parent materials, and establishment and application of the model of multi-distribution of landform categories of different soil parent materials, the analysis of geomorphic diversity of different soil parent materials in Hainan in the GIS environment can be expressed digitally.

Key words Hainan Island; SOTER digital databases; Geomorphic diversity; Parent materials; Indices; Abundance distribution models; GIS spatial variation