

南京市土壤集合组成及其嵌套性分析

王 辉^{1,2}, 张学雷¹, 张 薇³, 孙燕瓷¹, 陈 杰¹

(1. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008 ; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039 ;
3. 西南大学资源环境学院, 重庆北碚 400716)

摘要 随着工业化和城市化的加速发展, 土壤资源与土壤环境压力日益增加。近 20a 来, 南京市城镇化发展迅速, 而且城镇的发展正导致原来相对自然的大片土壤面积减少, 深入研究南京市土壤组成以及嵌套性特征, 有助于了解土壤类型的分布特征, 正确估计城镇化的后果, 在保护土壤资源以及土壤多样性方面具有一定的理论意义和现实意义。以南京市各乡镇等级单位的土壤集合为研究对象, 对南京市的土壤组成及嵌套性进行了分析。结果显示, 在南京市各乡镇等级单位中共有 47 个土种, 其中优势土种 6 种, 常见土种 13 种, 稀有土种 25 种, 濒危土种 3 种。土壤集合在组成上呈现出不完全嵌套格局, 分布于土种数较少的乡镇等级单位中的土种多数也分布在土种数较多的乡镇等级单位中。土壤类型数 (S) 与面积 (A) 是幂函数关系, 其最佳回归拟合方程为: $S = 0.7284A^{0.5922}$ 。嵌套格局与南京市的土种面积、地形以及地理位置关系密切, 面积大的乡镇等级单位有更多的土种主要原因是它们有更广阔的生境范围, 具有更高的生境多样性 (如水域、沼泽、地形地貌、丘陵等), 随着面积的缩小, 某些特定的生境类型随着逐渐丧失, 与此相关的一些土种也随之消失, 于是就产生了嵌套结构。

关键词 土壤集合; 嵌套性; 幂函数; 面积; 南京市

文章编号: 1000-0933 (2007) 01-0220-08 中图分类号: Q149, S154, S159 文献标识码: A

Composition and nested analysis of pedological assemblages in Nanjing

Wang Hui^{1,2}, Zhang Xuelei¹, Zhang Wei³, Sun Yanci¹, Chen Jie¹

1 State Key Lab of Soil and Sustainable Agriculture Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China

2 Graduate School of Chinese Academy of Science, Beijing 100039, China

3 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China

Acta Ecologica Sinica 2007, 27 (1): 0220 ~ 0227.

Abstract: The impact of rapid industrialization and urbanization on soil resources and the environment has been increasing in the Yangtze delta area over the past 20 years. More and more natural soils have been occupied by urban uses in many cities like Nanjing and original soil distribution patterns have been changed greatly. Studying and analyzing soil composition and nestedness helps to understand the distribution of pedotaxa better, estimate the aftermath of urbanization more accurately, and indicate further theoretical and practical implications in protecting soil resources and pedodiversity. Soil composition and nestedness of 70 town level units in Nanjing were analyzed with a software tool called Nestedness Temperature Calculator (Version Nov 1998). Results show that in Nanjing there are 47 pedotaxa types grouped into four classes; superior, common, rare and endangered with 6, 13, 25 and 3 members respectively. Pedological assemblages show the existence of an incomplete nested pattern, in other words, most pedotaxa present in the less rich sites are also present in

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40671012, 40541003); 中国科学院创新方向资助项目 (KZCX3-SW-427)

收稿日期: 2005-12-01; 修订日期: 2006-05-09

作者简介: 王辉 (1982 ~), 男, 江苏泗洪人, 硕士生, 主要从事土壤资源学与地理信息系统研究。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xlzhang@issas.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40671012, 40541003) and Knowledge Innovation Program of Chinese Academy of Sciences (No. KZCX3-SW-427)

Received date 2005-12-11; **Accepted date** 2006-05-09

Biography: Wang Hui, Master, mainly engaged in soil resource and GIS. E-mail: wanghui@issas.ac.cn

more rich sites. A power law fit is satisfactory for a pedotaxa (S)-area (A) relationship in Nanjing and is $S = 0.7284A^{0.5922}$. Thus, in Nanjing there exist taxa-area positive correlations. Area size, landform type, as well as geographical position are considered to be the main factors forming the nested pattern. The town level units with larger area have more pedotaxa types due to the wider habitat range and more habitat diversity (such as water or landform conditions). As the area reduces, some habitat types are gradually lost, and the related pedotaxa type decrease produces the observed nested pattern.

Key Words : pedological assemblages ; nestedness ; power law ; area ; Nanjing

生态学、生物地理学和保护生物学等领域的很多学者对物种组成及嵌套分布有着浓厚的研究兴趣。生态学家在研究中逐渐发现,区域的面积、形状、隔离度和区域之间的排列组合对岛屿生物群落具有重要的影响^[1-5]。在群落结构的3项基本特征(物种的组成、丰度和多度)中,区域内的物种丰度和区域面积的关系引起了最为广泛的关注,但围绕区域内物种-面积关系的争论也最为激烈^[6,7]。在群落组成方面,越来越多的研究显示,在一个区域生态系统中,在小区域中出现的物种多数也出现在物种相对丰富的大区域中^[6,8-10],这一非随机分布格局被命名为嵌套子集(nested subset)^[4,11],通常也称为嵌套结构^[12]。近年来,关于物种组成及嵌套性对生物保护的意义在我国也有了相关的研究及报道^[13-15]。尽管生态系统中包括生物和非生物资源,但一直以来生态学家通常注重对生物资源的研究,而忽略如土地、土壤、地形、母质等非生物资源,从而嵌套结构在土地利用变化中的应用却鲜有进展,有关土壤类型的嵌套格局以及区域结构对土壤分布的影响还未见研究报道。2005年,西班牙土壤学家 Ibáñez 等利用嵌套子集方法对土壤多样性格局进行了研究^[16]。2005年,本研究方法被引进我国^[17],介绍了嵌套子集的概念、方法和西班牙的研究进展,主要是在土壤多样性和土地利用空间分析上的应用等。

土壤多样性研究在国内外呈现出良好的研究前景^[18]。随着工业化和城市化的加速发展,土壤资源与土壤环境压力日益增加。近20a来,南京市城镇化发展迅速,而且城镇的发展正导致原来相对自然的大片土壤面积减少,深入研究南京市土壤组成以及嵌套性特征,有助于了解土壤类型的分布特征,正确估计城镇化的后果,在保护土壤资源及土壤多样性方面具有一定的理论意义和现实意义。前期研究^[19]以南京市城市化过程为研究对象,应用嵌套子集方法分析了南京市城镇化占地时空变化,以及各乡镇的扩展情况,但未对区域内土壤组成及其嵌套性做深入系统的分析。本文拟在此基础上,进一步研究分析南京市土壤类型的组成及嵌套性特征,并在此基础上探讨其对土壤资源及管理方面的意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南京是江苏省省会,位于北纬 $31^{\circ}14' \sim 32^{\circ}37'$,东经 $118^{\circ}22' \sim 119^{\circ}14'$ 之间。现辖区总面积 6582km^2 ,其中市区面积 976km^2 ,城市建成区面积 243km^2 。区内水系较多,地貌类型繁多,地质结构复杂。地貌以冲积平原和黄土垆岗为主,另有少量低山丘陵。南京市地形复杂,低山、丘岗和谷地平原相间分布,其中低山丘岗约占总面积的 $2/3$,全区第四系厚层覆盖区分为不同类型,中更新统为融冻泥流堆积,上更新统以风成为主,残坡-坡积次之,全新统则以冲积为主。浅表的第四系主要由全新统和上更新统构成,其土壤类型包括水稻土(水耕人为土)、黄棕壤(铁质湿润淋溶土)、潮土(淡色潮湿锥形土)、沼泽土(有机正常潜育土)、红壤(简育湿润富铁土)、紫色土(紫色湿润锥形土)、石灰岩土(钙质湿润淋溶土)等,其中水稻土(水耕人为土)、黄棕壤(铁质湿润淋溶土)、潮土(淡色潮湿锥形土)为研究区最常见的土壤类型。为适应经济发展进程中城镇化建设的需要,南京市不断进行行政区划调整。2001年1月江宁撤县设区,南京由原来的五县变成四县,2002年4月,六合、江浦分别撤县并区,截至2002年6月底,南京市行政区划为11区2县。辖区包括玄武区、白下区、秦淮区、建邺区、鼓楼区、下关区、浦口区、六合区、栖霞区、雨花台区、江宁区、溧水县、高淳县。行政设置有58个建制镇。近20a来城镇占用面积迅速扩张。研究区属北亚热带季风气候区,四季分明,年平均气温 16°C ,

年平均降雨量 1106mm, 无霜期 237d。

1.2 数据来源

采用的数据包括 1972 年比例尺 1:10 万南京市地形图, 1987 年比例尺 1:20 万南京市土壤图、2003 年比例尺 1:17 万南京市乡镇行政区划图以及南京市统计年鉴等社会经济资料。

1.3 研究方法

本研究拟从土壤类型的丰度(即土壤类型数目)、组成方面分析与区域性状的关系。区域面积是区域的典型性状, 通过统计分析南京市土壤类型的丰度、组成与区域面积的相关性, 可以验证区域内土壤类型的丰度是否存在随面积而变化的格局。通过验证土壤类型在各区域的分布是否存在随机性可以确定区域土壤类型的组成是否与区域性状有关。嵌套格局是区域群落组成的普遍格局^[4, 12, 13], 将通过数据验证南京市土壤类型是否也存在嵌套格局。具体方法在下面分别细述。

应用嵌套子集方法有以下条件:(1)相比较的物种和地点必须有共同的地理历史;(2)两者都必须拥有相似的同时代的生态条件;(3)在物种或地点中, 可以划分出若干等级。在生物资源中符合这些条件, 同样在分析南京市土壤类型的嵌套格局中也存在符合这些条件的可能性。南京市各乡镇以及土壤类型都具有相同的地理历史以及相似的同时代的生态条件, 同样在土壤类型或行政区划上也可以划分若干等级。在本研究中, 根据 2003 年南京市乡镇行政区划图, 把某些区和街道等同于乡镇, 包括区和街道在内共划分了 70 个乡镇等级单位(以下均称为单位)。根据各土壤类型在各单位的存在/不存在情况, 排列成不同的矩阵, 其中 1 代表存在, 0 代表不存在。这样土壤类型在 70 个单位中的分布格局就组成一个分布矩阵。在此分布矩阵中, 将单位从左到右按土壤类型数从多到少排列, 将土壤类型从上到下按出现的单位数从多到少排列。假如土壤类型集中分布在矩阵的左上角, 则基本形成嵌套结构的分布特征。但因为嵌套结构是一种非随机的分布格局, 它的存在需要验证。对于每一种土壤类型来说, 完全的嵌套结构意味着该土壤分布在土壤类型较为丰富的区域中, 任何在土壤类型较丰富的区域中的缺失即是对完全嵌套结构的偏离。统计整个矩阵中这样的缺失总数可以反映出偏离完全嵌套结构的程度, 或称为嵌套程度。将总的缺失数与随机模拟所产生的平均缺失数进行比较检验, 可以确定非随机嵌套结构存在的显著性^[11]。本文采用 Atmar 与 Patterson^[20]提出的指数“温度(temperature)”。Atmar 与 Patterson^[18]将反映嵌套程度的嵌套指数称为“温度或熵值(T)”, 以系统(即矩阵)的有序和无序度来反映物种分布的随机性(即嵌套程度)。无序度越高, T 值越高, 嵌套程度越低。 $T=0$ 表示完全嵌套, $T=100$ 表示完全随机。 T 的计算由 Atmar 与 Patterson^[21]编写的“嵌套温度计算器(Nestedness Temperature Calculator)”软件进行。按软件要求的格式输入数据, 并运行软件, 即可产生 T 值、随机模拟的 T 值, 以及两者差异的显著性。用此方法计算南京市土壤类型组成的 T 值及其显著性。

2 结果与讨论

2.1 区域内土壤类型的组成情况

根据土壤图结合野外考证(野外考证主要针对城市化用地扩展迅速的地方, 如江宁区, 考证土壤类型与土壤图是否符合以及土壤类型面积的变化), 南京市共有 14 个土壤亚类、32 个土属、47 个土种。在本研究中以土种为单元, 其中面积最大的 3 种土种为马肝土(91852.3 hm²)、黄白土(85486.5 hm²)、黄刚土(81447.2 hm²)。本研究根据土种在各单位中的分布(出现频率)并考虑各土种的总面积的大小将南京市的土种进行划分(表 1)按出现的频率划分为优势土种(≥ 30)、常见土种(8~29)、稀有土种(3~7)、濒危土种(1~2)。计有优势土种 6 种、常见土种 13 种、稀有土种 25 种、濒危土种 3 种。南京市土种的种类虽多, 但稀有土种居多, 这些土种的面积主要集中在 1000 到 5000 hm² 之间, 濒危土种是乌底青泥土(350.7 hm²)、江沙土(579.7 hm²)、石灰性青肝土(244.2 hm²)。分布最广泛的土种是黄刚土(57)、马肝土(50)、黄白土(47)。

2.2 土壤种类组成的嵌套格局

南京市共有土种 47 个, 土种在 70 个单位中的分布格局组成了一个分布矩阵(如图 1)。通过“嵌套温度计算器”求得土种组成的 $T=26.55$, 随机模拟产生的平均 T 值为 54.09, 标准差是 2.43。两者存在显著性差

异 ($p = 6.38 \times e^{-29}$) (图 2)。填充度 (Fill) 为 17%。这说明, 从土种组成来看, 南京市土种的分布存在显著的嵌套结构。但呈现不完全的嵌套格局, 分布于土种数较少的单位中的土种多数也分布在土种数较多的单位中。在小单位中分布的主要是一些普遍的土种, 如马肝土、黄白土、黄刚土等。随着面积的增大, 对地形、地理位置等有特定要求的土种逐渐增多。

表 1 南京市土壤组成及其分布情况

Table 1 The composition and distribution of pedotaxa in Nanjing

土种 Pedotaxa	面积 (hm ²) Area	出现频率 Frequency	土种 Pedotaxa	面积 (hm ²) Area	出现频率 Frequency
黄刚土 Clay loamy typic-arp-udic argosol	81447.2	57 (优势) Superiority	沙底江淤土 Light clay loamy car-typic-hapli-stagnic anthrosol	2912.1	6 (稀有) Rare
马肝土 Loamy typic-Fe-leachic-stagnic anthrosol	91852.3	50 (优势) Superiority	乌泥河淤土 Clay loamy typic-Fe-accumulic-dark-bottom-stagnic anthrosol	2314.8	6 (稀有) Rare
黄白土 Loamy inferior-typic-Fe-leachic-stagnic anthrosol	85486.5	47 (优势) Superiority	山沙土 Light gravel loamy typic-Fe-leachic-stagnic ant	1935.1	6 (稀有) Rare
岗黄土 Clay loamy eutric-arp-udic argosol	29311.0	43 (优势) Superiority	河沙土 Sand loamy typic-hapli-stagnic anthrosol	1717.9	6 (稀有) Rare
黄砂土 Light gravel loamy typic-ferri-udic cambosol	22722.0	34 (优势) Superiority	麻砂土 Loamy cho-typic-ferri-udic cambosol	1572.5	6 (稀有) Rare
河淤土 Clay loamy typic-Fe-accumulic-stagnic anthrosol	37755.2	30 (优势) Superiority	草渣土 Clay typic-hapli-stagnic gleyosol	5645.1	5 (稀有) Rare
栗色土 Clay loamy eutric-typic-ferri-udic argosol	25638.6	23 (常见) Common	青泥土 Clay typic-gleyic-stagnic anthrosol	5105.3	5 (稀有) Rare
青泥条土 Clay vertic-gleyic-stagnic anthrosol	13064.0	16 (常见) Common	石灰性马肝土 Loamy typic-Fe-leachic-lime-stagnic anthrosol	2898.6	5 (稀有) Rare
青肝土 Clay loamy vertic-gleyic-stagnic anthrosol	4032.7	16 (常见) Common	菜园小粉土 Loamy car-aqui-mottlic-fimic-orthic anthrosol	2429.9	5 (稀有) Rare
江淤土 Clay loamy car-typic-hapli-stagnic anthrosol	30704.9	14 (常见) Common	蒜瓣土 Clay typic-hapli- aqui-cambosol	1959.5	5 (稀有) Rare
紫红土 Light gravel clay loamy red-ferri-udic cambosol	3998.8	14 (常见) Common	黄红土 Clay cho-typic-ferri-udic argosol	1864.5	5 (稀有) Rare
板浆白土 Loamy albic-Fe-leachic-stagnic anthrosol	34267.6	13 (常见) Common	滩土 Clay loamy car- hapli-stagnic gleyosol	898.4	5 (稀有) Rare
卵石砂土 Gravel loamy typic-ferri-udic cambosol	5212.0	13 (常见) Common	灰粘土 Clay typic-hapli-podzol-stagnic gleyosol	2157.8	4 (稀有) Rare
白马肝土 Loamy albic-typic-Fe-leachic-stagnic anthrosol	18989.8	12 (常见) Common	红砂土 Loamy eutric-red-ferri-udic argosol	871.4	4 (稀有) Rare
河白土 Light clay loamy typic-Fe-accumulic-stagnic anthrosol	13226.4	11 (常见) Common	泥骨土 Clay car-hapli-vertic-gleyic-stagnic anthrosol	8514.1	3 (稀有) Rare
暗色土 Loamy eutric-dark-typic-ferri-udic cambosol	6469.2	11 (常见) Common	沙土 Loamy car-aqui-alluvic primosol	2359.8	3 (稀有) Rare
淤土 Clay loamy car-aqui-alluvic primosol	13004.8	9 (常见) Common	乌栅土 Clay car-vertic-gleyic-stagnic anthrosol	1653.9	3 (稀有) Rare
小粉土 Light loamy car-aqui-alluvic primosol	4042.9	8 (常见) Common	灰沙土 Sand clay loamy typic-hapli-stagnic anthrosol	1424.1	3 (稀有) Rare
菜园黄土 Clay loamy fimic-ferri-udic argosol	5019.6	7 (稀有) Rare	黄泥白土 Clay loamy Fe-leachic-gleyic-stagnic anthrosol	3701.3	2 (稀有) Rare
山黑土 Loamy mollic-car-udic-orthic primosol	2335.8	7 (稀有) Rare	鸡屎土 Clay loamy typic-dark-aqui-cambosol	2852.2	2 (稀有) Rare
山红土 Clay loamy red-ferri-udic cambosol	9154.5	6 (常见) Common	石灰性青肝土 Clay loamy vertic-gleyic-lime-stagnic anthrosol	244.2	2 (濒危)
青泥白土 Clay loamy Fe-leachic-gleyic-stagnic anthrosol	5186.0	6 (稀有) Rare	江沙土 Sand loamy car-typic-Fe-leachic-stagnic anthroso	580.7	1 (濒危)
菜园淤土 Loamy car-mottlic-fimic-orthic anthrosol	4723.1	6 (稀有) Rare	乌底青泥土 Clay Dm-typic-gleyic-stagnic anthrosol	350.7	1 (濒危)
夹沙土 Sand clay loamy car-typic-Fe-leachic-stagnic anthrosol	3500.4	6 (稀有) Rare			

矩阵特有的熵值范围及其适应性程度依赖于矩阵结构(大小、形状以及填充度)^[22, 23]。较冷的特征温度表达更小的、大部分空的或满的矩阵,并且这些矩阵行列数有很大的不同^[20, 21]。嵌套结构是一种非随机的有序的结构,这一结构的出现与区域的特征密切相关。在生态学上,存在下列解释:(1)选择性灭绝假说。具有较大的最小面积要求的物种,或者是具有较小种群的物种灭绝的风险较大,这样,物种就可能有序地从不同面积的岛屿生境中消失^[4, 12],形成嵌套结构。(2)选择性迁入假说。由于物种扩散能力的差异,扩散能力强的物种将占领多数区域,而扩散能力差的物种只能在面积较大的区域存在,那儿的竞争和灭绝率相对较低^[24]。(3)生境嵌套结构假说。物种分布与生境密切相关,区域物种组成的嵌套结构是区域生境结构呈现嵌套结构的结果^[24]。南京市各乡镇的隔离度较低,随着城市化的快速发展,靠近市区或者乡镇的土种灭绝风险较大。南京市土种的分布与区域的特征密切相关,土种的嵌套格局更多可能是由于区域特征如面积、地形、地理位置(靠近长江或城市周围)等呈现嵌套结构的结果。一般来说,大区域具有更高的生境多样性,具有某些小区域不具有的特定类型(如水域、沼泽、地形地貌、丘陵等)和具有较大的面积,大面积可能维持更多的土种主要原因是它们维持更广阔的生境范围,随着面积的缩小,这些特定的生境类型和结构随之逐渐丧失,与此相关的一些土种也随之丧失,嵌套结构也随之产生。

在南京市的70个单位中,图3显示了土种-面积的关系,两者之间具有很好的幂函数关系($\alpha = 0.5922$; $R = 0.8690$)存在着土种-面积的正相关性。土种类型范围分布大小的结果显示南京市的土壤数据遵循凹型曲

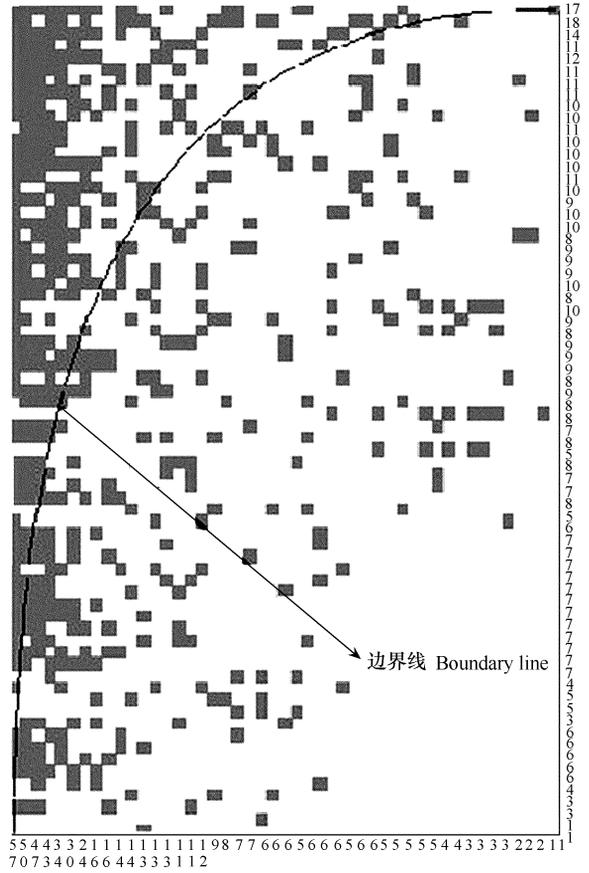


图1 南京市70个单位的土种分布矩阵
Fig. 1 Pedotaxa distribution matrix of 70 sites in Nanjing City

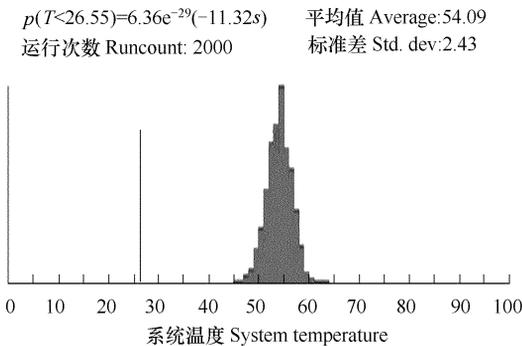


图2 2000次蒙特卡洛模拟对南京市70个单位土种类型的嵌套计算结果

Fig. 2 The results of the Nested Calculator Program for pedotaxa of 70 sites in Nanjing City with 2000 Monte Carlo simulations

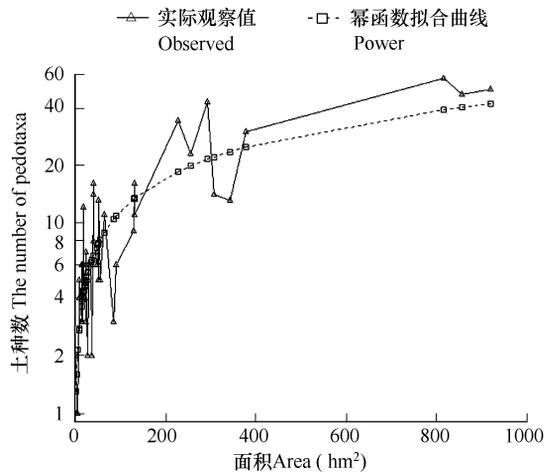


图3 南京市土壤类型-面积关系
Fig. 3 Pedotaxa-area relationship in Nanjing

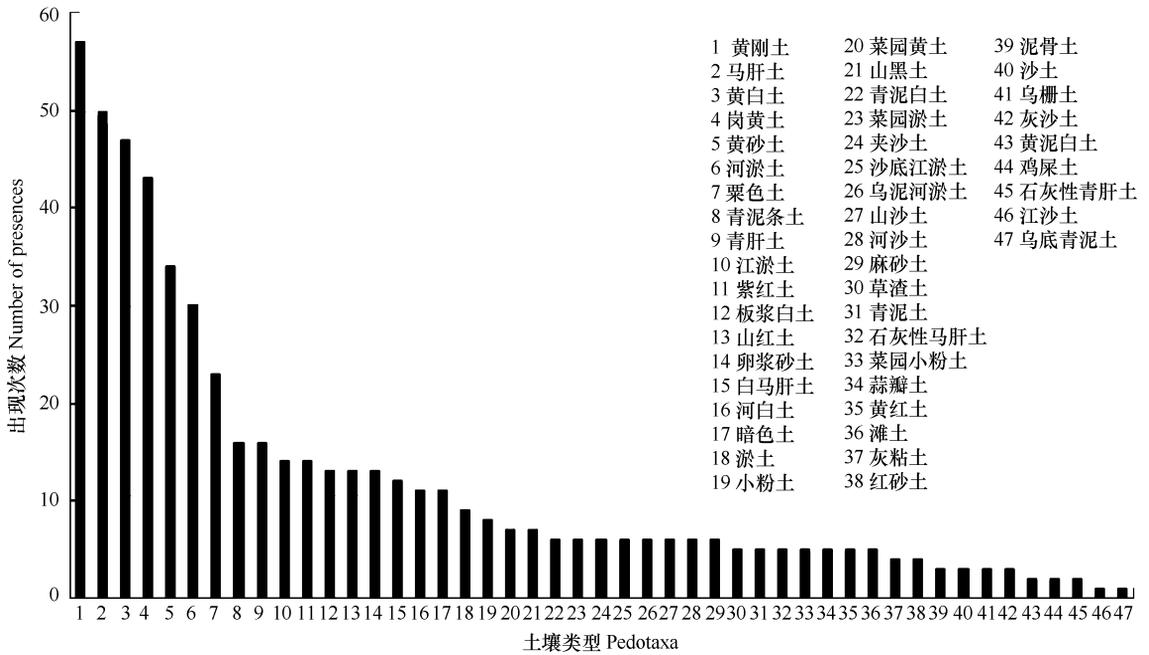


图4 南京市土壤类型出现频率的凹型曲线

Fig.4 Hollow curve for pedotaxa frequency in Nanjing

1 黄刚土 Clay loamy typic-arp-udic argosol ; 2 马肝土 Loamy typic-Fe-leachic-stagnic anthrosol ; 3 黄白土 Loamy inferior-typic-Fe-leachic-stagnic anthrosol ; 4 岗黄土 Clay loamy eutric-arp-udic argosol ; 5 黄砂土 Light gravel loamy typic-ferri-udic cambosol ; 6 河淤土 Clay loamy typic-Fe-accumulic-stagnic anthrosol ; 7 栗色土 Clay loamy eutric-typic-ferri-udic argosol ; 8 青泥条土 Clay vertic-gleyic-stagnic anthrosol ; 9 青肝土 Clay loamy vertic-gleyic-stagnic anthrosol ; 10 江淤土 Clay loamy car-typic-hapli-stagnic anthrosol ; 11 紫红土 Light gravel clay loamy red-ferri-udic cambosol ; 12 板浆白土 Loamy albic-Fe-leachic-stagnic anthrosol ; 13 山红土 Clay loamy red-ferri-udic cambosol ; 14 卵石砂土 Gravel loamy typic-ferri-udic cambosol ; 15 白马肝土 Loamy albic-typic-Fe-leachic-stagnic anthrosol ; 16 河白土 Light clay loamy typic-Fe-accumulic-stagnic anthrosol ; 17 暗色土 Loamy eutric-dark-typic-ferri-udic cambosol ; 18 淤土 Clay loamy car-aqui-alluvic primosol ; 19 小粉土 Light loamy car-aqui-alluvic primosol ; 20 菜园黄土 Clay loamy fmic-ferri-udic argosol ; 21 山黑土 Loamy mollic-car-udic-orthic primosol ; 22 青泥白土 Clay loamy Fe-leachic-gleyic-stagnic anthrosol ; 23 菜园淤土 Loamy car-mottlic-fmic-orthic anthrosol ; 24 夹沙土 Sand clay loamy car-typic-Fe-leachic-stagnic anthrosol ; 25 沙底江淤土 Light clay loamy car-typic-hapli-stagnic anthrosol ; 26 乌底河淤土 Clay loamy typic-Fe-accumulic-dark-bottom-stagnic anthrosol ; 27 山沙土 Light gravel loamy typic-Fe-leachic-stagnic ant ; 28 河沙土 Sand loamy typic-hapli-stagnic anthrosol ; 29 麻砂土 Loamy cho-typic-ferri-udic cambosol ; 30 草渣土 Clay typic-hapli-stagnic gleyosol ; 31 青泥土 Clay typic-gleyic-stagnic anthrosol ; 32 石灰性马肝土 Loamy typic-Fe-leachic-lime-stagnic anthrosol ; 33 菜园小粉土 Loamy car-aqui-mottlic-fmic-orthic anthrosol ; 34 蒜瓣土 Clay typic-hapli- aqui-cambosol ; 35 黄红土 Clay cho-typic-ferri-udic argosol ; 36 滩土 Clay loamy car- hapli-stagnic gleyosol ; 37 灰粘土 Clay typic-hapli-podzol-stagnic gleyosol ; 38 红砂土 Loamy eutric-red-ferri-udic argosol ; 39 泥骨土 Clay car-hapli-vertic-gleyic-stagnic anthrosol ; 40 沙土 Loamy car-aqui-alluvic primosol ; 41 乌栅土 Clay car-vertic-gleyic-stagnic anthrosol ; 42 灰沙土 Sand clay loamy typic-hapli-stagnic anthrosol ; 43 黄泥白土 Clay loamy Fe-leachic-gleyic-stagnic anthrosol ; 44 鸡屎土 Clay loamy typic-dark-aqui-cambosol ; 45 石灰性青肝土 Clay loamy vertic-gleyic-lime-stagnic anthrosol ; 46 江沙土 Sand loamy car-typic-Fe-leachic-stagnic anthroso ; 47 乌底青泥土 Clay Dm-typic-gleyic-stagnic anthrosol

由于土壤分类系统的不同,在参比成系统分类英文名称时,相当于土族下的续分单元,而非土系单元 Due to the difference between classifications , the soil names mentioned above are the subclass under soil family not soil series

线 (hollow curve) (图 4) ,这也是大多数生物和土壤类别所遵循的^[25] ,而且 ,这个分布遵循幂函数 ,确认了生态学中的某些设想^[26] 。幂函数对南京市土种范围大小分布的是 $S = CA^z$,其中 S 代表某种土种类型的单位数 , C 是常数 , A 代表整个南京市特定土种类型的面积 , z 为土种数与面积关系中回归斜率。将各单位的土种数与单位面积进行回归拟合 ,得出最佳回归方程为 : $S = 0.7284A^{0.5922}$ 。 $F = 126.64$, $P < 0.001$, $R = 0.8690$ 。

面积对嵌套性的影响在生物多样性和土壤多样性集合中都是可类比的^[16] 。在那些物种-面积关系更强的地方 ,土壤数据集的嵌套性似乎也是增大的 ,这在本研究中以及其他欧洲国家数据^[16] 都得到了很好的证明。即随着区域面积的减小 ,土种类型也较少。面积-土种多样性关系能够清楚地解释南京市土壤嵌套性。

土壤学家可能提出关于土壤形成因素和土壤地理历史发生学的其它原因,这将在今后的研究中作进一步分析。

3 结论

本文对南京市的土壤组成以及嵌套性特征进行了研究,结果表明:

(1)南京市的土壤组成以稀有土种为主,存在3种濒危土种,对濒危土壤应进行保护,减少人为扰动引起的面积进一步缩小。保护濒危土壤对于维持南京市土壤多样性具有重要作用。

(2)南京市土壤类型在组成上呈现出不完全的嵌套格局,其主要原因与南京市的各土种面积、地形以及地理位置关系密切。物种-面积关系被认为是群落生态学中普遍的规律^[27,28]。它在本研究中得到了验证。

计量生态学的方法已经讨论并应用于土壤组成分析中,结果显示,土壤集合的规律性似乎和生态学中描述的规律性非常相似,土壤类型-面积关系遵循幂函数,指数值为0.5922,对南京市来说,与普通生态学的设想基本是一致的。土壤类型分布曲线以及嵌套性分析都显示,土壤多样性模式与生态学系统中的多样性模式是相似的。在生物集合中发现的多样性模式是相当普遍的,其中,有些规律在没有应用任何生物机制的情况下,通过土壤数据得到了确证,例如土壤集合的嵌套性和土壤类型-面积关系。面积效应似乎有充分的理由来解释许多生物集合和土壤集合。生物资源和土壤资源在很多方面具有相似性,因此,土壤资源的保护可以借用在生物或生态保护中的方法,对保护土壤类型以及保护土壤多样性具有重要意义。

References :

- [1] MacArthur R H, Wilson E O. The theory of island biogeography. Princeton : Princeton University Press, 1967.
- [2] Hanski I. Coexistence of competitors in patchy environment. *Ecology*, 1983, 64 (3) : 493 - 500.
- [3] Boecklen W J. Effects of habitat heterogeneity on species-area relationships of forest birds. *Journal of Biogeography*, 1986, 13 : 59 - 68.
- [4] Patterson B D. The principle of nested subsets and its implications for biological conservation. *Conservation Biology*, 1987, 1 : 323 - 334.
- [5] Wiggins D A, Moller A P. Island size, isolation, or interspecific competition? The breeding distribution of the Parus guild in the Danish archipelago. *Oecologia*, 1997, 111 : 255 - 260.
- [6] Ambuel B, Temple S A. Area dependent changes in the bird communities and vegetation of southern Wisconsin forests. *Ecology*, 1983, 64 : 1057 - 1068.
- [7] Williamson M. The MacArthur and Wilson theory today : true but trivial. *Journal of Biogeography*, 1989, 16 : 3 - 4.
- [8] Whittaker R J. *Island Biogeography*. N Y : Oxford University Press, 1998. 283
- [9] Blake J G, Karr J R. Breeding birds of isolated woodlots : area and habitat relationships. *Ecology*, 1987, 68 (6) : 1724 - 1734.
- [10] Freemark K E, Merriam H G. Importance of area and habitat heterogeneity to bird assemblages in temperate forest fragments. *Biol. Conserv.* 1986, 36 : 115 - 141.
- [11] Patterson B D, Atmar W. Nested subsets and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos. *Biol. J. Linnean Soc.*, 1986, 28 : 65 - 82.
- [12] Patterson B D. On the temporal development of nested subsets patterns of species composition. *Oikos* 1990, 59 : 330 - 342.
- [13] Chen S H, Wang Y J. Nestedness pattern of insular community assemblages and its applications. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23 (3) : 81 - 87.
- [14] Chen S H, Ding P, Zheng G M, et al. Bird community patterns in response to the island features of urban woodlots in eastern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (4) : 657 - 663.
- [15] Liu C R, Ma K P, Chen L Z. Nestedness : methods, mechanisms and implications for biological conservation. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26 (supplement) : 68 - 72.
- [16] Ibáñez J J, Caniego J, Garc'la-Álvarez A. Nested subset analysis and taxa-range size distributions of pedological assemblages : implications for biodiversity studies. *Ecol Mod*, 2005, 182 : 239 - 256.
- [17] Wang H, Zhang X L, Chen J. Nested Subset : Discussion and its Possible Use in Pedodiversity Analysis, *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37 (4) : 776 - 781.
- [18] Zhang X L, Chen J, Gong Z T. What to do in China after a review of researches practices on pedodiversity in Europe and America. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24 (5) : 1063 - 1072.
- [19] Wang H, Zhang X L, Chen J, Sun Y C. Nested subset method-based analysis for the spatial and temporal change of landuse in Nanjing City under

its growing urbanization, *Soils*, in press.

- [20] Atmar W, Patterson B D. The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat. *Oecologia*, 1993, 96 :373—382.
- [21] Atmar W, Patterson B D. Nested temperature calculator: a visual basic program, including 294 presence absence matrices AICS Research, University Park, NM and The Field Museum. Chicago, III, 1995.
- [22] Patterson B D, Atmar W. Analysing species composition in fragments. *Bonn Zool Monogr*, 2000, 46 :9—24.
- [23] Wright D H, Patterson B D, Mikkelsen G, *et al.* A comparative analysis of nested subset patterns of species composition. *Oecologia*, 1998, 113 :1—20.
- [24] Cook R R, Quinn J F. The influence of colonization in nested species subsets. *Oecologia*, 1995, 102 :413—424.
- [25] Ibñáez J J, Caniego J, San-José F, *et al.* Pedodiversity-area relationships for islands. *Ecol. Model*, 2004, 17 :563—575.
- [26] Gaston K J, Blackburn T M. *Macroecology*. London : Blackwell Scientific Publications, 2000, 377.
- [27] Schoener T W. The species-area relations of communities on intertidal boulders : testing the null hypothesis. *Journal of Biogeography*, 1984, 11 :439—456.
- [28] Schoener T W. Overview : kinds of ecological communities-ecology becomes pluralistic. In : Case T J and Diamond J eds. *Community Ecology*. Harper and Row, New York, 1986. 467—479.

参考文献 :

- [13] 陈水华, 王玉军. 岛屿群落组成的嵌套格局及其应用. *生态学杂志*, 2004, 23 (3) :81~87.
- [14] 陈水华, 丁平, 郑光美, 等. 园林鸟类群落的岛屿性格局. *生态学报*, 2005, 25 (4) :657~663.
- [15] 刘灿然, 马克平, 陈灵芝. 嵌套性: 研究方法、形成机制及其对生物保护的意义. *植物生态学报*, 2002, 26 (增刊) :68~72.
- [17] 王辉, 张学雷, 陈杰. 嵌套子集: 引入土壤多样性研究的讨论. *土壤通报*, 土壤通报 2006
- [18] 张学雷, 陈杰, 龚子同. 土壤多样性理论在欧美的实践及在我国土壤景观研究中的应用前景. *生态学报* 2004 24 (5) :1063~1072.
- [19] 王辉, 张学雷, 陈杰, 孙燕瓷. 基于嵌套子集方法对南京市城镇化用地时空变化分析. *土壤*, 待发.