

# 城市化对南京地区土壤多样性影响的灰色关联分析

孙燕瓷, 张学雷, 程训强, 王辉, 檀满枝, 陈杰

(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)

**摘要:** 随着城市化的发展, 越来越多的土壤资源被侵占。本文借助 RS 和 GIS 技术, 根据 1984 年、1995 年、2003 年 3 期 TM 遥感影像 (30m×30m), 采用多时相连续对比法对南京地区近 20 年来城镇扩张情况进行了分析; 结合南京地区土壤图, 利用生态学领域中的多样性测度方法计算了城市化背景下南京地区的土壤多样性指数 (HP)、土壤均匀度指数 (Jsw) 和土壤丰富度指数 ( $R_2$ ), 进而在镇级尺度上对 1984~2003 年南京地区土壤多样性时空变化特点进行了研究; 利用灰色系统理论中的灰色关联分析方法, 对南京地区各级行政区划单位的扩张对土壤多样性的影响进行了初步探讨。分析结果表明, 各级行政区划中村庄的扩张对土壤多样性指数的影响最广, 约占研究区总面积的 60%; 镇、县和市的扩张对土壤多样性的影响逐渐减少, 各占研究区总面积的 26%、7%和 7%。

**关键词:** 南京; 城市化; 土壤多样性测度; 灰色关联分析

## 1 引言

土壤多样性理论和方法是 20 世纪 90 年代发展起来的土壤地理学中的一个新的分支学科。自 1990 年西班牙人 Ibáñez 等提出土壤多样性理论以来, 不断引起多方的注意和研究兴趣, 先后有西班牙、中国、美国等国家进行此领域的研究。Ibáñez 等在西班牙中部和爱琴海地区的研究实践, 证实了被广泛应用于生物多样性分析的多样性计量方法用于土壤空间变异和分布格局分析是完全可行的<sup>[1-4]</sup>; 稍后, 本方法被引入我国<sup>[5-7]</sup>, 并利用 SOTER (土壤—地体数字化数据库) 在山东省、海南岛展开一系列研究<sup>[8-13]</sup>; 2003 年, 美国首次对土地利用对土壤多样性的影响进行了初步定量化研究, 有关研究已展现出良好的前景<sup>[14, 15]</sup>。同时, 引起土壤多样性变化的驱动因子方面, 尤其是土地利用变化对土壤多样性的影响开始逐渐被人们所关注。

城市化亦称城镇化或都市化, 是当今中国土地利用变化中一个快速而颇受关注的过程。对城镇用地扩张的驱动力、城市形态与环境之间的关系等问题的研究已经取得较多进展<sup>[16-19]</sup>, 但城市化对土壤多样性的影响研究在国内只有少量报道<sup>[20, 21]</sup>。本文借助 RS 和 GIS 技术, 利用 1984、1995、2003 年 3 期 TM 遥感影像 (30m×30m) 资料及南京土壤图等, 采用多时相连续对比法<sup>[19]</sup>, 在镇级尺度上对南京地区近 20 年来快速城市化背景下土壤多样性时空变化特点进行了研究。进而利用灰色系统理论中的灰色关联分析方法, 对南京地区各级行政区划单位的扩张对土壤多样性的影响进行了初步探讨。为研究该区域土地利用与覆盖变化、城市发展与规划提供借鉴。

收稿日期: 2005-10-23; 修订日期: 2006-01-18

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40541003); 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX3-SW-427) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.40541003; Knowledge Innovation Project of Chinese Academy of Sciences, No.KZCX3-SW-427]

作者简介: 孙燕瓷(1979-), 女, 硕士研究生, 主要从事土壤资源学与地理信息系统方面研究。E-mail: ycsun@issas.ac.cn

通讯作者: 张学雷; E-mail: XLZhang@issas.ac.cn



$$HP = -\sum P_i \ln P_i; \quad J_{sw} = (-\sum P_i \ln P_i) / \ln S; \quad R_2 = S / \ln N$$

式中： $HP$  为 Shannon 多样性指数， $J_{sw}$  为 Pielou 均匀度指数， $R_2$  为 Gleason 丰富度指数， $S$  为镇内土属数目， $N$  为镇内土壤总面积 ( $\text{hm}^2$ )， $P_i = N_i/N$ ， $i = 1, 2, 3, \dots$ ， $S$ ， $N_i$  为镇内被第  $i$  个土种所覆盖的面积 ( $\text{hm}^2$ )。

### 3 结果与分析

#### 3.1 城镇扩张时空变化特征

根据 1984 年、1995 年及 2003 年南京地区的城市扩张数据及 1984~1995 年、1995~2003 年南京地区城镇扩张动态数据，经过统计分析并在地理信息系统软件中实现空间可视化，得到南京地区近 20 年城镇扩张情况时空分布数据 (表 1 和图 2)。

1984~2003 年间，南京以其优越的地理位置，区域经济和社会发展水平不断提高，城镇建设用地面积不断扩大。近 20 年来城镇扩张总面积为  $46420.72 \text{hm}^2$ ，各级行政区划市、县、镇、村的扩张面积比为 1:0.56:1.15:3.59。其中市、县、镇的扩张主要集中在各级行政区划人民政府驻地周边地区，近 20 年共扩张  $19989.90 \text{hm}^2$ ，占城镇扩张总面积的 43.06%。受自然地理位置、国家宏观政策及南京经济技术开发区、雨花经济技术开发区、江宁经济技术开发区和浦口高新技术开发区等因素的带动影响，南京地区城镇扩张有着明显的空间分布差异性。从图 2 中可以看出，1984~2003 年间建邺区东南部、雨花区东北部、栖霞区西南部和江北八卦洲西侧沿江一带城市化处于快速发展阶段，形成了一个以南京市为中心的辐射状城镇快速扩张区；村庄的扩张空间上呈零星分布，近 20 年扩张面积为  $26430.8 \text{hm}^2$ ，占城镇扩张总面积的 56.94%。以上分析表明，南京地区今后在城镇规划上不仅要注意市、县的集中扩张，农村居民点的分散扩张也是不容忽视的。

此外，不同时期南京地区城镇扩张呈现不断增长的态势，表现为年均扩张面积和相

表 1 1984~2003 年南京地区城镇扩张面积 (单位:  $\text{hm}^2$ , %)

Tab. 1 Expansion of Nanjing area in 1984~2003

行政区划	统计项目	年代		
		1984~1995	1995~2003	1984~2003
市	扩张面积	4312.21	3410.27	7722.48
	年均扩张面积	392.02	426.28	406.45
	平均面积	-	-	16981.85
	相对年扩张率	2.31	2.51	2.39
	相对年扩张率	2.31	2.51	2.39
县	扩张面积	2208.54	1940.85	4149.4
	年均扩张面积	200.78	242.61	218.39
	平均面积	-	-	4036.08
	相对年扩张率	4.97	6.01	5.41
	相对年扩张率	4.97	6.01	5.41
镇	扩张面积	4404.94	3725.05	8129.99
	年均扩张面积	400.45	465.63	427.89
	平均面积	-	-	12483.23
	相对年扩张率	3.21	3.73	3.43
	相对年扩张率	3.21	3.73	3.43
村	扩张面积	12855.79	13563.06	26418.85
	年均扩张面积	1168.71	1695.38	1390.47
	平均面积	-	-	60110.28
	相对年扩张率	1.94	2.82	2.31
	相对年扩张率	1.94	2.82	2.31

注：年均扩张面积 = (末期面积 - 初期面积) / (末期年 - 初期年)；相对年扩张率 = 年均扩张面积 / 平均面积 \* 100% (为了消除不同时期初期面积的影响，计算相对年扩张率时将分母由初期面积改为平均面积)。

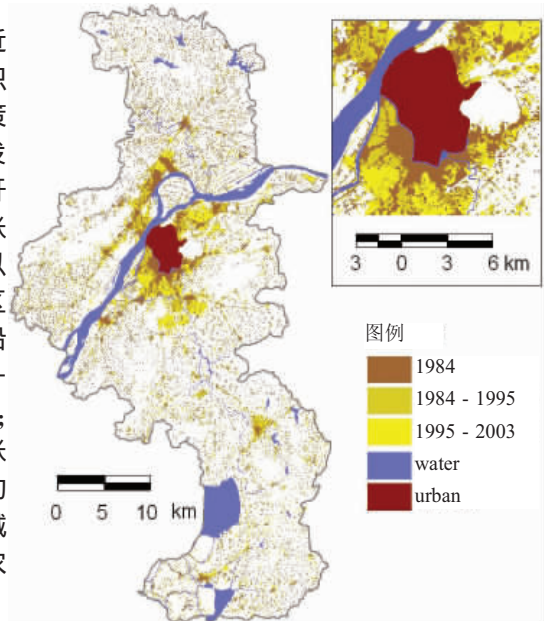


图 2 1984~2003 年南京城镇扩张空间分布  
Fig. 2 Spatial distribution of urbanization expansion in Nanjing in 1984-2003

对年扩张率不断增长(表 1)。

### 3.2 土壤多样性变化

#### 3.2.1 不同时期基本统计特征

从 1984~2003 年南京地区三种土壤多样性测度指数的基本统计特征可看出(表 2): (1) 土壤多样性分析: 1984~2003 年土壤多样性

指数 (HP) 分布在 0.01~2.50 之间, 平均值为 1.63, 平均极差为 2.41; 土壤均匀度指数 ( $J_{sw}$ ) 分布在 0.01~0.96 之间, 平均值为 0.76, 平均极差为 0.94; 土壤丰富度指数 ( $R_2$ ) 分布在 0.14~1.04 之间, 平均值为 0.49 左右, 平均极差为 0.85。这说明南京地区各乡镇间土壤多样性存在较大差异; (2) 土壤多样性分布形态分析: 土壤多样性分布形态主要体现在峰度和偏度上, 1984~2003 年南京地区三种土壤多样性测度指数的峰度各个时期均大于 0, 其中均匀度指数峰度最高, 其次为多样性指数和丰富度指数。这说明南京地区各种土壤多样性测度指数分布形态比正态分布高峰要更加陡峭, 均匀度指数比其他两种指数更加陡峭; 偏度除丰富度指数右偏外, 其他两种指数均为左偏。表明南京地区既有部分乡镇土壤类型丰富, 有较高的丰富度指数, 如栖霞区和雨花区; 又有部分乡镇土壤类型单一且分布不均匀, 有极低的多样性指数和均匀度指数, 如玉带镇、下关区、秦淮区、鼓楼区, 这再次表明南京地区各乡镇间土壤多样性差异显著。

3.2.2 空间分布差异分析 在地理信息系统软件 Arcview 和 Arcmap 中, 将土壤多样性测度指数动态度 (动态度 = (末期多样性测度值 - 初期多样性测度值) / 初期多样性测度值 × 100) 通过 id 与空间数据进行连接, 即可实现土壤多样性动态变化特点的空间可视化表达 (图 3)。从图 3 可看出, (1) 1984~2003 年间, 土壤多样性指数动态度绝大多数地区在 -3.72~4.24 之间, 南京中心城市周边地区 (鼓楼区除外) 及江北八卦洲西侧沿江一带土壤多样性指数都有不同程度的下降, 土壤多样性变化较剧烈, 其中下关区和鼓楼区土壤多样性指数动态度各为 -97.73 和 558.93, 分别为下限值和上限值; (2) 土壤均匀度指数依然是下关区、鼓楼区变化较剧烈, 动态度分别为 -96.4 和 558.93, 其他多数地区在 -7.63~4.24 之间; (3) 土壤丰富度指数下关区、秦淮区急剧下降, 鼓楼区急速上升, 动态度分别为 -32.02、-29.46、43.39, 其他大多数地区在 -6.95~1.3 之间。这表明在区域分布上, 土壤多样性变化较剧烈的区域主要连片分布在城镇扩张快速的南京主城区附近及江北八卦洲西侧沿江一带。该区域某些土壤类型正面临消失的危险, 如壤质石灰斑纹肥熟旱耕人为土 (菜园淤土) 等, 土壤多样性保护形势严峻。

### 3.3 城市化对土壤多样性影响的灰色关联分析

3.3.1 灰色系统理论与模型建立 随着生产和社会的发展, 灰色理论于 1982 年基于“黑箱”和“灰箱”理论而问世, 在系统控制论中, 常借助颜色来表示研究者对系统内部信息和对系统本身的了解及认识程度。“黑”表示信息完全缺乏, “白”表示信息完全, “灰”表示信息不充分、不完全<sup>[24, 25]</sup>。灰色系统理论主要包括灰色系统建模理论、灰色系统控制理论、灰色关联分析、灰色预测、灰色规划、灰色决策等, 本文主要用到其中的灰色关联分析。基于地理现象与问题之间的复杂性, 以及人们认知水平的限制, 许多因素之间的关系是灰色的, 很难用相关系数比较精确地度量其相关程度的客观大小。为了克服统计相关分析的种种缺陷, 灰色系统理论中的灰色关联分析给我们提供了一种分析

表 2 1984~2003 年南京地区土壤多样性测度统计特征

Tab. 2 Statistical features of pedodiversity measure values in Nanjing in 1984~2003

年份	指数	平均值	最小值	最大值	极差	标准差	偏度	峰度
1984	HP	1.64	0.05	2.50	2.45	0.43	-1.30	2.89
	$J_{sw}$	0.76	0.05	0.96	0.91	0.14	-2.73	10.31
	$R_2$	0.49	0.20	1.04	0.84	0.15	0.75	2.60
1995	HP	1.63	0.01	2.46	2.45	0.44	-1.35	3.07
	$J_{sw}$	0.76	0.01	0.96	0.95	0.15	-2.74	10.12
	$R_2$	0.49	0.14	0.99	0.85	0.15	0.55	2.09
2003	HP	1.62	0.01	2.34	2.33	0.43	-1.31	2.66
	$J_{sw}$	0.76	0.01	0.96	0.95	0.14	-2.77	10.02
	$R_2$	0.48	0.14	0.99	0.85	0.15	0.29	1.35



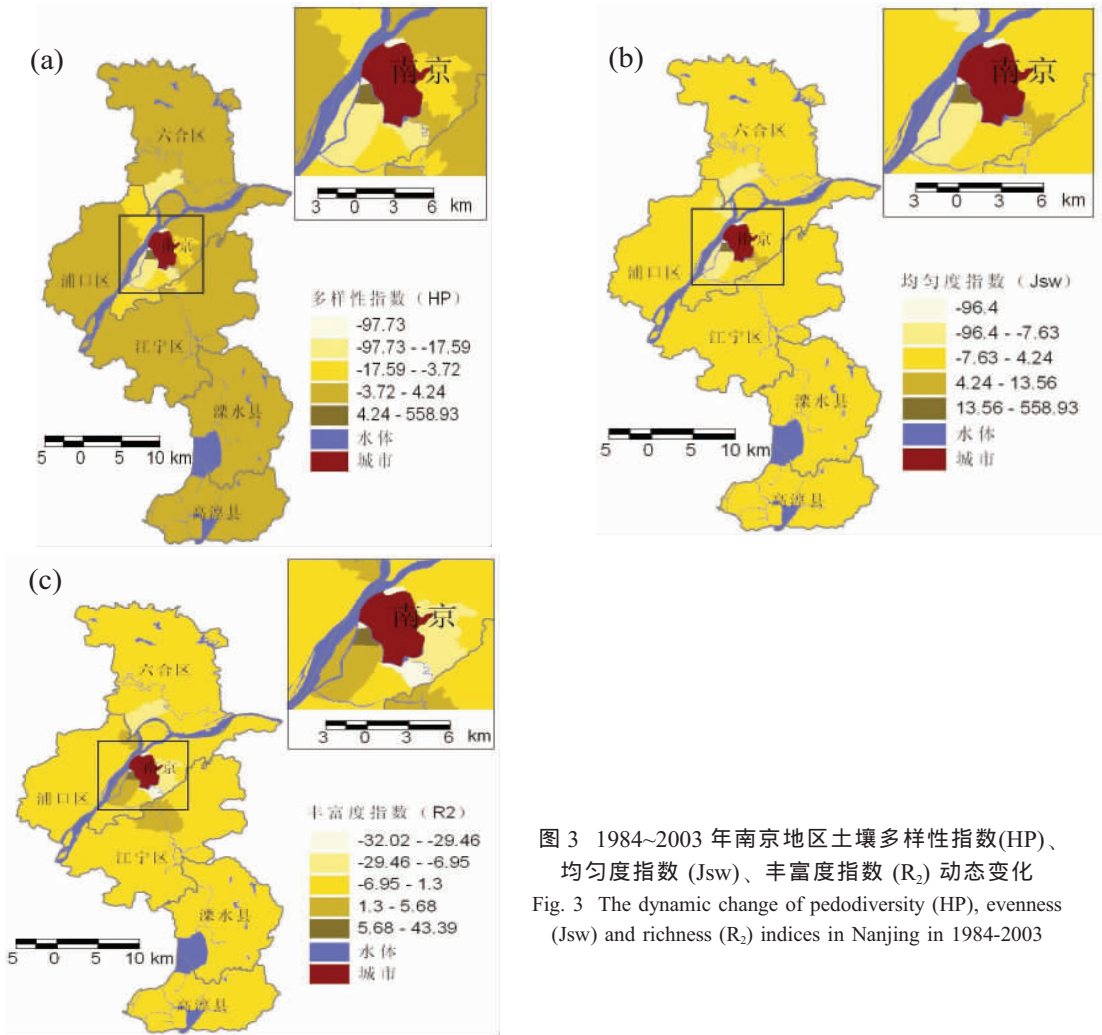


图3 1984~2003年南京地区土壤多样性指数(HP)、均匀度指数(Jsw)、丰富度指数(R<sub>2</sub>)动态变化  
 Fig. 3 The dynamic change of pedodiversity (HP), evenness (Jsw) and richness (R<sub>2</sub>) indices in Nanjing in 1984-2003

因素之间相互关系的又一种方法<sup>[26]</sup>。

设  $x_1, x_1, \dots, x_N$  为  $N$  个因素，反映各因素变化特性的数据列分别为  $\{x_1(t)\}, \{x_1(t)\}, \dots, \{x_N(t)\}, t = 1, 2, \dots, M$ 。因素  $x_j$  对  $x_i$  的关联系数定义为<sup>[26]</sup>

$$\zeta_{ij}(t) = \frac{\Delta_{\min} + k\Delta_{\max}}{\Delta_{ij}(t) + k\Delta_{\max}} \quad t = 1, 2, 3, \dots, M$$

式中： $\zeta_{ij}(t)$ 为因素  $x_j$  对  $x_i$  在  $t$  时刻的关联系数； $\Delta_{ij}(t) = |x_i(t) - x_j(t)|$ ， $\Delta_{\max} = \max_j \max_t \Delta_{ij}(t)$ ， $\Delta_{\min} = \max_j \max_t \Delta_{ij}(t)$ ； $k$  为介于  $[0, 1]$  区间上的灰数。

在实际运用中， $x_j$  对  $x_i$  的关联度近似计算公式为<sup>[26]</sup>

$$\gamma_{ij} \approx \frac{1}{M} \sum_{t=1}^M \zeta_{ij}(t)$$

求得的灰色关联度按从小到大进行排序，即得到灰色关联度序列，关联度越大表明该因子对被影响因子的影响越大。

**3.3.2 灰色关联度计算与分析** 为了消除量纲的影响，使计算结果更具可比性，进行灰色关联分析前先对原始数据做均值变换，然后以变换后得到的土壤多样性指数 (HP) 为参考数列，取灰数  $k = 0.5$ ，对 1984~2003 年南京地区城镇扩张对土壤多样性的影响进行了

表 3 1984~2003 南京地区土壤多样性与城镇扩张的灰色关联度

Tab. 3 Gray correlation between pedodiversity and urbanization in Nanjing in 1984~2003

地名	灰色关联度				地名	灰色关联度			地名	灰色关联度	
	市	县	镇	村		县	镇	村		镇	村
秦淮区	0.83	-	0.50	0.76	马鞍镇	0.81	0.50	0.77	江宁镇	0.50	0.67
白下区	0.69	-	-	0.52	八百桥镇	-	0.97	0.35	柘塘镇	0.50	0.65
沿江镇	0.65	-	0.50	0.62	乌江镇	-	0.77	0.42	湖熟镇	0.50	0.65
玄武区	0.64	-	0.83	0.55	砖墙镇	-	0.77	0.49	陶吴镇	0.50	0.60
下关区	0.52	-	-	0.52	禄口镇	-	0.69	0.50	谷里镇	0.50	0.58
建邺区	0.52	-	0.48	0.63	石湫镇	-	0.67	0.50	桤溪镇	0.50	0.54
鼓楼区	0.51	-	-	0.50	冶山镇	-	0.64	0.50	星甸镇	0.50	0.52
上坊镇	0.50	-	0.67	0.82	石桥镇	-	0.63	0.47	铜井镇	0.50	0.52
栖霞区	0.50	-	0.51	0.49	晶桥镇	-	0.58	0.50	新簧镇	0.50	0.71
盘城镇	0.50	-	0.50	0.85	定埠镇	-	0.57	0.44	竹镇镇	0.50	0.76
玉带镇	0.50	-	0.65	0.77	丹阳镇	-	0.55	0.48	汤山镇	0.49	0.59
泰山	0.48	-	0.55	0.59	马集镇	-	0.55	0.48	长芦	0.49	0.42
雄州镇	0.47	0.69	0.58	0.71	古柏镇	-	0.51	0.50	新集镇	0.49	0.68
雨花区	0.47	-	0.52	0.45	程桥镇	-	0.50	0.76	横溪镇	0.47	0.58
顶山	0.42	-	0.62	0.56	龙袍镇	-	0.50	0.61	白马镇	0.47	0.52
永阳镇	-	0.50	0.75	0.68	汤泉镇	-	0.50	0.67	永宁镇	0.46	0.67
洪蓝镇	-	0.50	0.72	0.76	东屏镇	-	0.50	0.75	东坝镇	0.46	0.56
珠江镇	-	0.50	0.53	0.58	固城镇	-	0.50	0.69	东沟镇	0.46	0.53
方山	-	0.50	0.83	0.88	上峰镇	-	0.50	0.82	桥林镇	0.46	0.50
淳溪镇	-	0.53	0.50	0.52	瓜埠镇	-	0.50	0.80	麒麟镇	0.42	0.62
东山镇	-	0.55	0.48	0.50	秣陵镇	-	0.50	0.77	漆桥镇	0.41	0.72
阳江镇	-	0.62	0.62	0.50	横梁镇	-	0.50	0.75	土桥镇	0.40	0.73
淳化镇	-	0.67	0.90	0.90	和凤镇	-	0.50	0.67	老山	-	0.50
百家湖	-	0.78	0.50	0.68	东善桥	-	0.50	0.73	周岗镇	-	0.44

灰色关联分析 (表 3)。通过对每个乡镇的灰色关联度进行排序后得知, 各级行政区划中村庄的扩张对土壤多样性指数的影响最广, 约占研究区总面积的 60%, 镇、县和市的扩张对土壤多样性指数的影响逐渐递减, 各占 26%、7% 和 7%。这意味着 1984~2003 年南京地区城市化过程中, 村庄的扩张与土壤多样性变化的关系最密切, 镇次之。显而易见, 这是由各级行政区划的空间地理位置所决定的, 村庄和镇空间分布较广, 虽然它们的扩张多数是缓慢的, 却对整个南京地区造成大的影响; 市县的扩张尽管每一阶段都很剧烈, 但仅对周边较小范围的地区造成影响。而且随着经济的发展和人们生活水平的提高, 农村的发展实际上并不像人们想像的那么缓慢。因而, 要维护南京地区土壤多样性水平, 保护一些地方稀有或独特土种不被城镇扩张所吞噬, 控制农村居民点的扩张与控制市、镇的扩张同等重要。

## 4 讨论

(1) 本研究主要分析了南京地区城镇快速扩张对土壤类别多样性的影响, 对土壤性质多样性、土壤功能多样性及土壤多样性与生物多样性的关系等方面缺乏研究, 今后应在这方面作出更多努力。此外, 现有的遥感资料时间跨度太大, 不能建立良好的时间系列以进行预测分析, 在以后的工作中要充分利用一些数学理论和方法, 寻求更好的综合评价方法以使计算的结果更客观, 更实用。

(2) 1984~2003 年间南京地区城镇扩张有着明显的空间分布差异性, 南京市主城区附近及江北八卦洲西侧沿江一带城镇扩张迅速。同时, 这一区域各种土壤多样性测度指数变化剧烈, 某些土壤类型正濒临消失, 如壤质石灰斑纹肥熟旱耕人为土 (菜园淤土) 等,

土壤多样性保护形势严峻。

(3) 灰色关联分析表明, 村庄的扩张对土壤多样性变化的范围最广, 镇次之, 市、县的扩张对局部地区造成剧烈影响。因而, 要维护南京地区土壤多样性水平, 保护一些地方稀有或独特土属不被城镇扩张所吞噬, 保证一些有特殊土宜要求的名、优、稀、特作物的持续生产, 控制农村居民点的扩张与控制市、镇的扩张同等重要。

(4) 在农业结构调整中, 要防止盲目兴建各类开发区占用大量土壤资源, 造成土壤资源的浪费, 更为严峻的是将日渐破坏自然界固有的土壤多样性格局, 这或许对目前尚未知晓的自然环境保护领域(如自然遗产、环境基因)有着潜在的危机。

## 参考文献 (References)

- [1] Ibáñez, J J, Jiménez-Ballesta R, García-Álvarez A. Soil landscapes and drainage basins in Mediterranean areas. *Catena*, 1990, 17: 573-583.
- [2] Ibáñez J J, García-Álvarez A. Suelos y cambio global. Un enfoque histórico-termodinámico. *Rev. Ecol. Biol. Dol.*, 1991, 28: 349-375.
- [3] Ibáñez J J, Benito G, García-Álvarez et al. Mediterranean soils and landscapes: an overview. In: Rubio J L, Calvo A (eds.), *Soil Degradation and Desertification in Mediterranean Environments*. Geoderma, Logroño, 1996. 7-36.
- [4] Ibáñez J J, De-Alba S, Lobo et al. Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with Discussion). *Geoderma*, 1998, 83: 171-214.
- [5] Chen Jie, Zhang Xuelei, Gong Zitong et al. Pedodiversity: a controversial concept. *Advance in Earth Sciences*, 2001, 16 (2): 189-193. [陈杰, 张学雷, 龚子同等. 土壤多样性的概念及其争议. *地球科学进展*, 2001, 16(2): 189-193.]
- [6] Zhang Xuelei, Chen Jie, Tan Manzhi et al. Some most recent process on pedodiversity. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(3): 374-379. [张学雷, 陈杰, 檀满枝等. 土壤多样性理论方法的新近发展与应用. *地球科学进展*, 2003, 18 (3): 374-379.]
- [7] Zhang Xuelei, Chen Jie, Gong Zitong. 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. [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.]
- [8] Zhang Xuelei, Chen Jie, Zhang Ganlin et al. Pedodiversity analysis in Hainan Island. *Journal of Geographical Sciences*, 2003, 13(2): 181-186.
- [9] Zhang Xuelei, Chen Jie, Zhang Ganlin. Landform based pedodiversity of some soil properties in Hainan. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 839-844. [张学雷, 陈杰, 张甘霖. 海南岛不同地形上土壤性质的多样性分析. *地理学报*, 2003, 58(6): 839-844.]
- [10] Zhang Xuelei, Chen Jie, Zhang Ganlin et al. Soil parent material based geomorphic diversity in Hainan Island, China. *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(2): 170-175. [张学雷, 陈杰, 张甘霖等. 海南岛成土母质的地形多样性分析. *土壤学报*, 2004, 41(2): 170-175.]
- [11] Zhang Xuelei, Chen Jie, Zhang Ganlin. Landform-based pedodiversity of some soil chemical properties in Hainan Island, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1368-1372. [张学雷, 陈杰, 张甘霖. 海南岛不同地形上某些土壤化学性质的多样性分析. *应用生态学报*, 2004, 15(8): 1368-1372.]
- [12] Zhang Xuelei, Mantel S, Zhang Ganlin et al. Exploring suitability for tropical crop cultivation in Hainan island by SOTAL methodology. *Journal of Geographical Sciences*, 2001, 11(4): 420-426.
- [13] Tan Manzhi, Zhang Xuelei, Chen Jie et al. Pedodiversity: a case study based on 1:1 million scale SOTER of Shandong Province, China. *Pedosphere*, 2003, 13(3): 219-226.
- [14] Guo Yinyan, Peng Gong, Ronald Amundson. Pedodiversity in the United States of America. *Geoderma*, 2003, 117(1-2): 99-115.
- [15] Ronald Amundson, Guo Yinyan, Peng Gong. Soil Diversity and Land Use in the United States. *Ecosystems*, 2003. Online publication: 30 May. (<http://rizzo.springer-ny.com/onlinefirst/10021/contents/02/0160/paper>).
- [16] He Chunyang, Shi Peijun, Chen Jin et al. Process and mechanism of urbanization in Beijing area. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 363-371. [何春阳, 史培军, 陈晋等. 北京地区城市化过程和机制研究. *地理学报*, 2002, 57(3): 363-371.]
- [17] Xia Li, Anthony Gar-On Yeh. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69: 335-354.
- [18] Zhang Xuelei, Tan Manzhi, Chen Jie et al. Impact of land use change on soil resources in the peri-urban area of Suzhou City. *Journal of Geographical Sciences*, 2005, 15(1): 71-79.

- [19] Tan Manzhi, Chen Jie, Zhang Xuelei. RS and GIS based assessment of impact of urbanization on soil resources in Suzhou City in the last 20 years. *Soils*, 2004, 36(6): 621-625. [檀满枝, 陈杰, 张学雷. 基于 RS 和 GIS 苏州市近 20 年来城镇扩张对土壤资源的影响研究. *土壤*, 2004, 36(6): 621-625.]
- [20] Zhang Xuelei, Chen Jie, Tan Manzhi et al. Assessing the impact of urban sprawl on soil resources of Nanjing City using satellite images and digital soil databases. *Catena*, 2005. (Accepted)
- [21] Sun Yanci, Zhang Xuelei, Chen Jie et al. Impact from the growing urbanization process on pedodiversity in Suzhou area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(11): 2060-2065. [孙燕瓷, 张学雷, 陈杰 等. 城市化对苏州地区土壤多样性的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(11): 2060-2065.]
- [22] Nanjing Bureau of Statistics (ed.). *Nanjing Statistics Yearbook (2003)*. Nanjing: China Statistics Press. [南京统计局编. *南京统计年鉴 (2003 年)*. 南京: 中国统计出版社.]
- [23] Liu Canran, Ma Keping, Yu Shunli et al. Plant community diversity in Dongling mountain, Beijing, China. *Acta Ecologica Sinica*, 1997, 17(6): 584-592. [刘灿然, 马克平, 于顺利 等. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究. *生态学报*, 1997, 17(6): 584-592.]
- [24] Fang Shibo, Yang Wunian, Pan Jianjun et al. Study on cultivated land reduction in the course of Nanjing's urbanizations with gray theory. *Journal of Sichuan Normal University (Natural Science)*, 2002, 25(4): 432-434. [房世波, 杨武年, 潘剑君 等. 应用灰色理论研究南京市城市化进程对耕地数量的影响. *四川师范大学学报 (自然科学版)*, 2002, 25(4): 432-434.]
- [25] Fu Li. *Gray System Theory and Its Applications*. Beijing: Scientific and Technical Documents Publishing House, 1992. [傅立. *灰色系统理论及其应用*. 北京: 科学技术文献出版社, 1992.]
- [26] Xu Jianhua. *Mathematical Methods in Modern Geography*. Beijing: Higher Education Press, 1994. 197-199. [徐建华. *现代地理学的数学方法*. 北京: 高等教育出版社, 1994. 197-199.]

## Gray Correlative Analysis of the Impact from Growing Urbanization Process on Pedodiversity in Nanjing Area

SUN Yanci, ZHANG Xuelei, CHENG Xunqiang, Wang Hui, TAN Manzhi, CHEN Jie  
(*State Key Lab of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China*)

**Abstract:** More and more natural soil resources have been occupied by the rapid urbanization in the Yangtse Delta. Based on the data of TM images (30m×30m) of three different periods (1984, 1995 and 2003), this paper analyzed the expansion of Nanjing area in the past 20 years using the method of multi-source information integration and multi-phase-successive-comparison with the aid of RS and GIS techniques. Combined with the soil map of Nanjing, we calculated the pedodiversity (HP), evenness (Jsw) and richness ( $R_2$ ) indices of Nanjing by the diversity measure methods borrowed from biological studies. Then it studied the spatial-temporal dynamic change of pedodiversity pattern in Nanjing area. Finally, it explored the impact of urbanization on pedodiversity with gray correlative analysis model. The result shows that the expansion of different administration units has various impacts on pedodiversity with village, the most significant impact, sharing 60%, town about 26%, city 7%, and county 7% of the total study area.

**Key words:** Nanjing; urbanization; pedodiversity measures; gray correlative analysis