

基于嵌套子集方法对南京市城镇化用地时空变化分析^①

王辉^{1,2}, 张学雷^{1,3*}, 张薇⁴, 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 100049; 3 郑州大学自然资源与生态环境研究所, 郑州 450001; 4 西南大学资源与环境学院, 重庆 400716)

摘要: 随着城镇化的加速发展, 越来越多的土地资源被占用。本文应用嵌套子集方法, 并借助 RS 和 GIS 技术, 利用 1984、1995、2000、2003 年 4 期 TM 卫星遥感影像, 对南京市近 20 年来城镇扩展情况进行了分析。结果表明: 1984—2003 年间, 随着城市化水平的不断提高, 南京市城镇用地面积不断扩大, 填充度从 1984 年的 3.5% 提高到 2003 年的 7.2%, 增加 1 倍多, 并呈嵌套格局, 且嵌套程度越来越高; 各乡镇填充度的变化表现出差异性, 即市区的乡镇、市区周边的乡镇以及在区县的乡镇的填充度增加较大, 其他大部分乡镇的填充度虽然都有不同程度的增加, 但增加程度不大, 还有一些乡镇的填充度没有变化。

关键词: 嵌套子集; 填充度; 城镇用地; 南京市

中图分类号: S154

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的嵌套分布有着浓厚的研究兴趣。越来越多的研究显示, 在一个区域生态系统中, 小区域中出现的物种大多数也出现在物种相对丰富的大区域中^[1-5], 这一非随机分布格局被命名为嵌套子集(nested subset)^[6-8], 通常也称为嵌套结构。在完全嵌套的情况下, 物种不会在较贫乏的区域中出现而在较丰富的区域中不出现^[8-9]。尽管现实的生物区系不会表现出完全的嵌套性, 然而, 研究表明, 很多区域以及“生境岛”中的物种都表现出显著的嵌套性^[9]。生境嵌套结构假说^[10](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)得到多数研究者的认同。嵌套结构随后被证明是群落组成的普遍格局^[9]。嵌套结构在保护生物学上具有特殊意义, 它被认为是分析群落组成的重要工具, 是群落结构的重要指标^[8,11]。它为自然保护区的最优化设计提供了新的视角, 从而也重新引发了 SLOSS(是单个大的保护区还是几个总面积相同的小保护区能更好地保护多样性)争论^[1,6,12]。嵌套子集与自然保护和解决 SLOSS 的难题是相关的^[1,6,13], 嵌套结构已经成为保护生物学中的重要概念^[11]。尽管生态系统中包括生物的和非生物的资源, 但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^[14], 从而嵌套结构在土地利用变化中的应用鲜有进展。直到 2005 年, 西班牙土壤学家 Ibáñez 等^[15]利用嵌套子集方法对土壤多样性格局进行了研究。同年, 该研究方法

被引进我国^[16], 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。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长, 城市建成区面积不断扩大、经济开发区与新城镇建立、城市交通网络建设、农业结构调整等造成我国原本就短缺的土壤资源快速衰减, 不仅直接威胁农业生产和粮食安全, 而且对生态环境造成难以逆转的影响^[17-18]。本文借助 RS 和 GIS 技术, 利用 1984、1995、2000、2003 年 4 期 TM 卫星遥感影像, 采用嵌套子集方法对南京市近 20 年来城镇用地情况进行分析, 并对各个乡镇的城镇用地情况进行初步研究。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

南京市位于北纬 31°14' ~ 32°37', 东经 118°22' ~ 119°14' 之间。现辖区总面积 6582 km², 其中市区面积 976 km², 城市建成区面积 243 km²。区域人口从 1984 年的 461 万增加到 2003 年 572 万。城市化率从 1984 年的 47.44% 增加到 2003 年的 74.24%。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 月江宁县撤县设区, 南京市由原来所辖 5 县变成 4 县。2002 年 4 月, 六合县、江浦县分别撤县并区。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

①基金项目: 国家自然科学基金项目(40171044、40671012、40541003)和中国科学院创新方向项目(KZCX3-SW-427)资助。

* 通讯作者

作者简介: 王辉(1982—), 男, 江苏泗洪人, 硕士研究生, 主要从事土壤资源与 GIS 研究。E-mail: wanghui@issas.ac.cn

区、江宁区、溧水县、高淳县。行政设置有 58 个建制镇。南京市在近 20 年来城镇占用土地面积扩张迅速。

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、南京市 4 期 TM 图像 (1984、1995、2000、2003 年)、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

1.3.1 遥感与 GIS

通过矢量化方法获取各种空间数据,利用地理信息系统 (GIS) 软件,采用统一的坐标系统和投影参数,首先对地形图进行空间定位,然后配准遥感图像,在此基础上进行矢量化处理,获取数据。依据地形图和 4 期 TM 图像,分析近 20 年城镇用地时空变化。由于数字化的空间数据多是矢量格式,本文通过 GIS 软件对矢量数据栅格化,栅格的大小根据分析的精度要求和矢量数据的数据量并结合研究区的实际情况定为 $0.5 \text{ km} \times 0.5 \text{ km}$ 。

1.3.2 嵌套子集方法

对通过栅格化得到的栅格根据各乡镇的情况以及是否为城镇用地,排列成不同的矩阵,其中 1 代表城镇用地,0 代表非城镇用地。然后运用计算机软件“嵌套温度计算器 (1998.11 版)”^[19-21] (Nestedness Temperature Calculator Version Nov 1998) 计算这些矩阵即可产生填充度 (Fill, 即城镇用地在整个矩阵中的数量百分比), T 值、随机模拟 T 值以及两者之间的差异性,各乡镇城镇用地的嵌套程度等。

2 结果与讨论

2.1 南京市城镇化用地时空变化情况

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,同样在城镇化用地时空变化中也存在符合这些条件的可能性。南京市各乡镇的城镇用地情况具有相同的地理历史以及相似的同时代的生态条件,并且在城镇占地的时空变化上可以分级,在本研究中把土地划分为城镇用地和非城镇用地。这说明在分析南京市城镇化用地

时空变化中符合应用嵌套子集方法的条件,因此应用嵌套子集方法是可行的。

嵌套性的定量研究可分为以下几个步骤:①将数据 (城镇占地与否) 排成矩阵,根据是否为城镇用地分别用 1 和 0 表示;②按包含城镇用地数目从多到少以及各乡镇的实际情况对矩阵进行调整;③计算嵌套性指数;④利用随机模拟方法进行嵌套性的显著性检验。通常嵌套模式的统计意义是通过随机矩阵模式的指数和蒙特卡洛 (Monte Carlo) 模拟相比较而决定的^[7,13,19]。

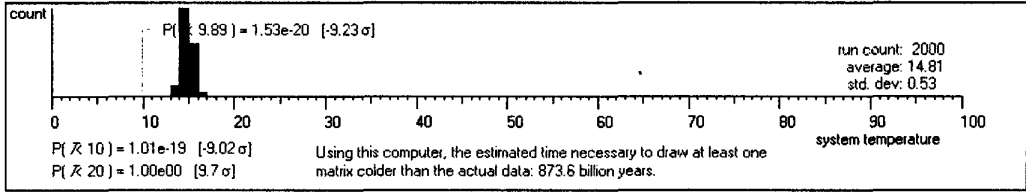
根据 1984、1995、2000 和 2003 年南京市城镇用地图形数据库,经过空间分析与统计分析,运用嵌套温度计算器得出南京市近 20 年来城镇占地情况 (表 1)。1984—2003 年间,随着城市化水平的不断提高,南京市城镇用地面积不断扩大,填充度从 1984 年的 3.5% 提高到 2003 年的 7.2%,即城镇用地面积占总面积的比例增加了 1 倍多。1984、1995、2000、2003 年的填充度分别是 3.5%、5.4%、6.1%、7.2%,其比例为 1:1.54:1.74:2.06,1984—1995 年、1995—2000 年、2000—2003 年填充度的增加量分别是 1.9%、0.7%、1.1%,城镇用地的绝对扩展量呈现先增加后减少的趋势。熵值的高低主要以矩阵的有序无序度来反应城市用地分布的随机性,即嵌套程度。无序度越高,熵值越高,随机性越高,嵌套程度越低, $T = 0^\circ\text{C}$ 表示完全嵌套, $T = 100^\circ\text{C}$ 表示完全随机^[19-20]。1984、1995、2000、2003 年的熵值分别为 18.68%、16.96%、16.14%、15.17%,表明嵌套程度越来越高。柱状图是经过对矩阵 2000 次 Monte Carlo 随机排列得出的 2000 个值,在零假设条件下得出的理论值的平均值与 T 比较,来评估矩阵的概率 (通常情况下 50 次以上随机计算可以决定嵌套与否,为了获得更可靠的评估,我们用了 2000 次计算)。通过 2000 次 Monte Carlo 模拟对 1984、1995、2000、2003 年的矩阵进行随机排列,并对嵌套性进行显著性检验。熵值平均值分别是 14.81°C 、 24.20°C 、 27.35°C 、 32.62°C , P 值分别是 $1.53 \times e^{-20}$ 、 $3.90 \times e^{-27}$ 、 $8.57 \times e^{-50}$ 、 $3.46 \times e^{-79}$,即 4 个时期的城镇用地都是嵌套的 ($P < 0.001$),且嵌套程度越来越高 (表 1、图 1)。

表 1 1984—2003 年南京市城镇用地嵌套分析结果

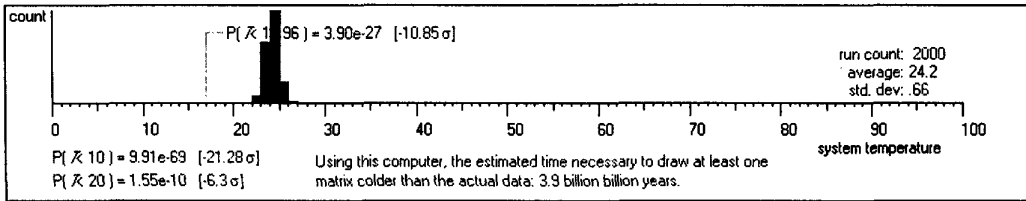
Table 1 Nesting analysis of land alienation in Nanjing City from 1984 to 2003

年份	矩阵结果		体系熵值 ($^\circ\text{C}$) (Monte Carlo 模拟运行)		P (统计意义)
	熵值 T ($^\circ\text{C}$)	填充度 (%)	平均	标准背离	
1984	18.68	3.5	14.81	0.53	$1.53 \times e^{-20}$
1995	16.96	5.4	24.20	0.66	$3.90 \times e^{-27}$
2000	16.14	6.1	27.35	0.67	$8.57 \times e^{-50}$
2003	15.17	7.2	32.62	0.73	$3.46 \times e^{-79}$

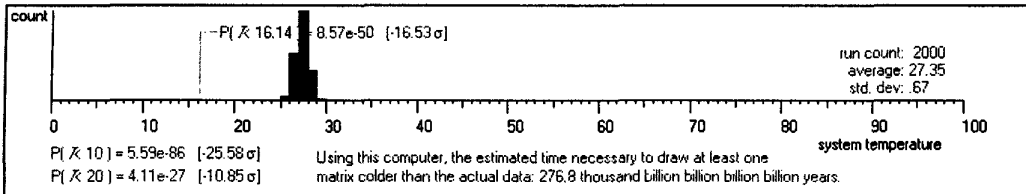
1984 年



1995 年



2000 年



2003 年

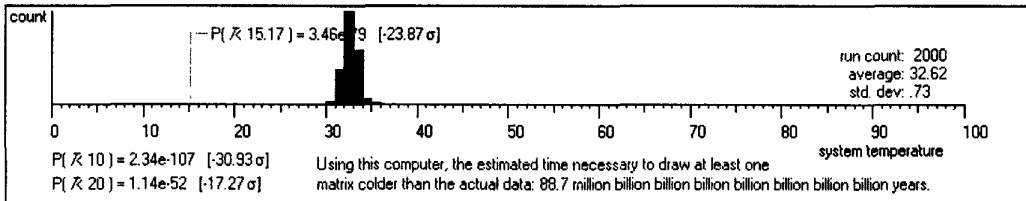


图 1 2000 次 Monte Carlo 模拟对 1984—2003 年南京市城镇占地的嵌套计算结果

Fig. 1 Nesting calculation of landuse alienation in Nanjing City from 1984 to 2003 with 2000 times of Monte Carlo simulations

测度矩阵的温度或熵值是以意外存在/不存在分布为基础的，在完全嵌套的矩阵中，假设线把占用面积（矩阵的左上角）与未占用部分分开，这个假设线也称边界线 (boundary line)^[21]。边界线在完全嵌套的矩阵中不是随机的，而是取决于矩阵的形状、大小及填充度。城镇占地在边界线左上角的缺失被认为是意外的，同样，在边界线的右下角出现也是意外的。当随机性比较低时，意外的存在/不存在处于边界线附近，随着体系随机性的增加，意外的存在/不存在离边界线越远。嵌套分布意味着在矩阵中城镇用地更可能分布在矩阵的左上角，且城镇用地比例较大的区域通常也在矩阵的左上角。同样，城镇用地较少的区域处于矩阵的右下角，通常情况下，距离边界线越远，城

镇用地越少。图 2 是通过嵌套温度计算器产生的，图中显示 1984—2003 年城镇用地不断增加，其中城镇用地多的区域扩张更快。图中的指数曲线是边界线，在整个矩阵中，不同的颜色等级反应不同的城镇用地的概率，颜色深的区域说明城镇占地比例较大，而颜色浅的区域说明城镇占地比例较小。从图中可以看出 1984—2003 年城镇用地呈现全面扩张的趋势，但主要集中在城镇用地多的区域（边界线右上角所占比例越来越大），体现了城镇用地比例大的区域占用土地越来越多的趋势。

2.2 各乡镇城镇化用地时空变化情况

近 20 年来，南京市经历了多次行政区划调整，城镇占用面积不断增加。为了研究需要，我们把某些区

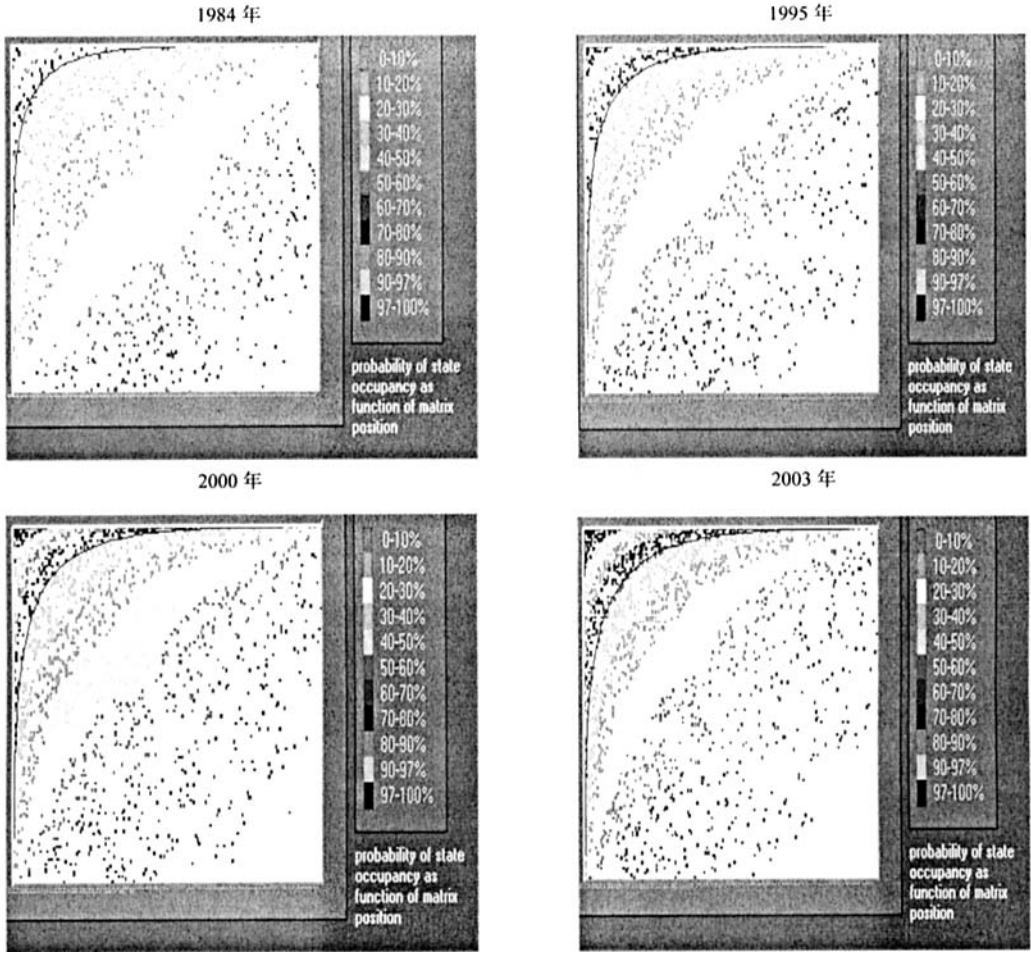


图 2 1984—2003 年南京城镇占地概率分布图

Fig. 2 Probability distribution of land alienation in Nanjing City from 1984 to 2003

和街道等同于乡镇，包括区和街道在内共划分了 70 个乡镇。根据 1984、1995、2000 和 2003 年南京市城镇用地图形数据库，经过空间分析与统计分析，运用嵌套温度计算器得出南京市近 20 年来城镇占地变化情况。各乡镇从 1984、1995、2000、2003 年各时期城镇用地填充度（表 2）的数据表明：近 20 年来，城镇用地面积在普遍增加的同时，各乡镇城镇用地扩张速率也表现出一定的差异性。在市区的乡镇（包括下关区、鼓楼区、玄武区、建邺区、白下区、秦淮区、雨花台区）、市区周边的乡镇（包括浦口区、栖霞区、江宁开发区、东山镇、上坊镇）以及在区县的乡镇（包括淳溪镇、顶山镇、长芦镇、雄州镇、沿江镇、永阳镇、珠江镇）的填充度增加较大，其他大部分乡镇的填充度虽然都有不同程度的增加，但是与以上乡镇相比，增加程度不大。也有一些乡镇的填充度没有变化，如丹阳镇、谷里镇、马集镇、上峰镇、铜井镇、乌江镇、

冶山镇、周岗镇等距离市区或区县较远的乡镇。这表明市区和区县的城镇用地面积不断增加，同时对周边的城镇也有一定的辐射作用，而远离市区或区县的乡镇城镇用地面积则增加不大或没有变化。从表 2 也可以看出，所有乡镇的填充度都没有减少，大部分乡镇的填充度在 1984—1995 年间增加百分比大于 1995—2000 年以及 2000—2003 年间的增加百分比。1984—1995 年间增加百分比 > 100% 的乡镇有 20 个，其中江宁开发区增加百分比最大，达到 1245.2%，也有 15 个乡镇的填充度没有变化，说明在此期间大部分乡镇的城镇占地扩展较快。1995—2000 年间有 28 个乡镇的填充度没有变化，增加百分比普遍 < 100%，达到 100% 以上的乡镇仅有 3 个，这期间乡镇的填充度增加不大，很多乡镇都控制着城镇占地的扩展。2000—2003 年间有 33 个乡镇的填充度没有增加，接近 1/2。填充度增加的乡镇增加百分比也不是很大，达到 100% 以上的乡

镇有 1 个。2003 年的填充度与 1984 年相比, 有超过 1/2 的乡镇填充度增加百分比达到 100% 以上, 共 37 个。增加量超过 1 倍以上。增加最多的是江宁开发区, 达到 3287.7%, 即城镇用地扩展了近 33 倍。

表 2 1984—2003 年南京市各时期各乡镇城镇用地的填充度变化情况
Table 2 Change in degree of fill of land alienation in towns of Nanjing City from 1984 to 2003

乡镇名称	1984 年		1995 年		2000 年		2003 年		总增加百分比 (%)
	填充度		填充度	增加百分比	填充度	增加百分比	填充度	增加百分比	
	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	
八百桥镇	0.15		0.76	406.67	0.76	0.00	0.76	0.00	406.67
白马镇	0.34		0.52	52.94	0.52	0.00	0.52	0.00	52.94
白下区	50.00		57.55	15.10	63.21	9.83	63.21	0.00	26.42
长芦镇	30.30		39.39	30.00	46.06	16.93	49.39	7.23	63.00
程桥镇	1.23		1.65	34.15	2.06	24.85	2.26	9.71	83.74
淳化镇	1.29		1.94	50.39	1.94	0.00	2.90	49.48	124.81
淳溪镇	3.92		6.01	53.32	6.53	8.65	7.57	15.93	93.11
丹阳镇	1.15		1.15	0.00	1.15	0.00	1.15	0.00	0.00
顶山镇	6.06		12.12	100.00	14.55	20.05	15.76	8.32	160.07
定埠镇	2.50		2.92	16.80	3.33	14.04	3.33	0.00	33.20
东坝镇	0.86		1.14	32.56	1.43	25.44	1.71	19.58	98.84
东沟镇	1.66		2.21	33.13	2.76	24.89	3.87	40.22	133.13
东屏镇	0.37		0.73	97.30	0.92	26.03	0.92	0.00	148.65
东善桥镇	0.89		2.23	150.56	3.13	40.36	4.46	42.49	401.12
古柏镇	0.99		1.32	33.33	1.32	0.00	1.98	50.00	100.00
谷里镇	0.27		0.27	0.00	0.27	0.00	0.27	0.00	0.00
鼓楼区	78.00		90.00	15.38	91.00	1.11	91.00	0.00	16.67
固城镇	0.25		0.50	100.00	0.74	48.00	0.74	0.00	196.00
瓜埠镇	0.56		2.79	398.21	3.91	40.14	3.91	0.00	598.21
横梁镇	1.68		2.02	20.24	2.02	0.00	2.36	16.83	40.48
横溪镇	0.27		0.27	0.00	0.54	100.00	0.81	50.00	200.00
洪蓝镇	1.05		1.48	40.95	1.90	28.38	1.90	0.00	80.95
湖熟镇	0.88		1.33	51.14	1.33	0.00	1.33	0.00	51.14
建邺区	14.15		25.85	82.69	34.15	32.11	41.85	22.55	195.76
江宁开发区	0.73		9.82	1245.2	13.09	33.30	24.73	88.92	3287.7
东山镇	10.26		20.09	95.81	22.65	12.74	39.74	75.45	287.33
江宁镇	1.01		1.17	15.84	1.17	0.00	1.17	0.00	15.84
晶桥镇	0.34		0.51	50.00	0.51	0.00	0.51	0.00	0.00
老山林场	0.00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
龙袍镇	0.29		0.88	203.45	0.88	0.00	0.88	0.00	203.45
禄口镇	0.69		1.20	73.91	1.38	15.00	1.55	12.32	124.64
马鞍镇	0.21		0.21	0.00	0.21	0.00	0.41	95.24	95.24
马集镇	0.59		0.59	0.00	0.59	0.00	0.59	0.00	0.00
秣陵镇	0.43		1.28	197.67	1.71	33.59	2.14	25.15	397.67
盘城镇	0.47		3.26	593.62	4.65	42.64	5.12	10.11	989.36
浦口区	18.13		39.38	117.21	48.13	22.22	51.88	7.79	186.16
栖霞区	5.42		8.99	65.87	10.71	19.13	15.40	43.79	184.13
漆桥镇	0.47		0.94	100.00	1.88	100.00	2.35	25.00	400.00
麒麟镇	0.40		1.59	297.50	1.99	25.16	2.39	20.10	497.50
桥林镇	0.83		0.83	0.00	1.04	25.30	1.24	19.23	49.40

续表 2

秦淮区	52.17	58.70	12.52	68.48	16.66	69.57	1.59	33.35
上坊镇	0.91	0.91	0.00	1.81	98.90	4.52	149.72	396.70
上峰镇	0.36	0.36	0.00	0.36	0.00	0.36	0.00	0.00
石湫镇	0.08	0.17	112.50	0.17	0.00	0.17	0.00	112.50
石桥镇	0.77	1.53	98.70	1.53	0.00	1.53	0.00	98.70
汤泉镇	0.46	1.38	200.00	2.30	66.67	2.30	0.00	400.00
汤山镇	0.67	1.78	165.67	2.01	12.92	2.01	0.00	200.00
陶吴镇	0.63	1.27	101.59	1.27	0.00	1.27	0.00	101.59
铜井镇	0.21	0.21	0.00	0.21	0.00	0.21	0.00	0.00
土桥镇	0.37	0.37	0.00	0.74	100.00	0.74	0.00	100.00
乌江镇	0.41	0.41	0.00	0.41	0.00	0.41	0.00	0.00
下关区	57.27	64.55	12.71	66.36	2.80	68.18	2.74	19.05
新篁镇	0.42	1.25	197.62	1.25	0.00	1.25	0.00	197.62
新集镇	0.89	0.89	0.00	0.89	0.00	1.19	33.71	33.71
星甸镇	0.76	1.14	50.00	1.14	0.00	1.14	0.00	50.00
雄州镇	5.19	9.09	75.14	9.35	2.86	10.13	8.34	95.18
玄武区	31.23	39.87	27.67	42.19	5.82	45.51	7.87	45.73
桡溪镇	0.21	0.43	104.76	0.43	0.00	0.43	0.00	104.76
沿江镇	4.14	22.76	449.76	25.52	12.13	28.28	10.82	583.09
阳江镇	1.57	2.56	63.06	2.76	7.81	3.35	21.38	113.38
冶山镇	1.69	1.69	0.00	1.69	0.00	1.69	0.00	0.00
永宁镇	0.68	1.35	98.53	1.58	17.04	1.81	14.56	166.18
永阳镇	2.12	7.79	267.45	9.38	20.41	10.16	8.32	379.25
雨花台区	15.61	25.24	61.69	28.13	11.45	34.68	23.28	122.17
玉带镇	0.40	1.60	300.00	1.60	0.00	2.40	50.00	500.00
柘塘镇	0.74	1.47	98.65	1.84	25.17	2.21	20.11	198.65
周岗镇	0.59	0.59	0.00	0.59	0.00	0.59	0.00	0.00
珠江镇	3.28	6.37	94.21	7.34	15.23	8.11	10.49	147.26
竹镇镇	0.59	0.83	40.68	0.83	0.00	0.83	0.00	40.68
砖墙镇	0.69	1.04	50.72	1.74	67.31	1.74	0.00	152.17

注：各年份下增加百分比指的是该年份与前一测试年份间的增加百分比。

3 结论

(1) 近 20 年来，南京市城镇用地总面积不断扩大，填充度从 3.5% 提高到 7.2%，增加 1 倍多。1984—1995 年、1995—2000 年、2000—2003 年填充度的增加量分别是 1.9%、0.7%、1.1%，城镇用地的绝对扩展量呈现先增加后减少的趋势。通过嵌套温度计算表明，1984、1995、2000、2003 年 4 个时期的城镇用地都是嵌套的，且嵌套程度越来越高。

(2) 各乡镇的城镇用地的扩展量和速率表现出差异性，且存在一定的地理分布规律。即市区的乡镇、市区周边的乡镇以及在区县的乡镇的填充度增加较大，其他大部分乡镇的填充度虽然都有不同程度的增加，但增加程度不大。还有一些乡镇城镇用地面积没有变化。

在国外，嵌套格局在研究生物资源方面已取得了不少研究成果，在研究非生物资源方面（如土壤）也取得初步的进展。本文将此方法用于城镇化用地时空变化分析中，并对各个乡镇的填充度进行计量。随着城市化的不断加剧，城镇用地的嵌套结构将引起更为广泛的关注。尽管将嵌套子集方法应用到非生物资源中存在一些不足，有诸多值得商榷之处，但将此方法用于土壤学和土地利用变化的研究在国内外已经开始，并显示出良好的应用前景。

参考文献：

- [1] Whittaker R.J. *Island Biogeography*. New York: Oxford University Press, 1998: 283
- [2] Gaston K.J., Blackburn T.M. *Macroecology*. London: Blackwell Scientific Publications, 2000: 377

- [3] Ambuel B, Temple SA. Area dependent changes in the bird communities and vegetation of southern Wisconsin forests. *Ecology*, 1983, 64: 1057-1068
- [4] Blake JG, Karr JR. Breeding birds of isolated woodlots: Area and habitat relationships. *Ecology*, 1987, 68 (6): 1724-1734
- [5] Freemark KE, Merriam HG. Importance of area and habitat heterogeneity to bird assemblages in temperate forest fragments. *Biol. Conserv.*, 1986, 36: 115-141
- [6] Patterson BD, Atmar W. Nested subsets and the structure of insular mammalian faunas and archipelagos. *Biol. J. Linnean Soc.*, 1986, 28: 65-82
- [7] Patterson BD. The principle of nested subsets and its implications for biological conservation. *Conserv. Biol.*, 1987, 1: 323-334
- [8] 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
- [9] Patterson BD. On the temporal development of nested subsets patterns of species composition. *Oikos*, 1990, 59: 330-342
- [10] Cook RR, Quinn JF. The influence of colonization in nested species subsets. *Oecologia*, 1995, 102: 413-424
- [11] Cutler AH. Nested faunas and extinction in fragmented habitats. *Conserv. Biol.*, 1991, 5: 496-505
- [12] 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
- [13] Cook RR. The relationship between nested subsets, habitat subdivision, and species diversity. *Oecologia*, 1995, 101: 204-210
- [14] 张学雷, 陈杰, 张甘霖, 檀满枝, José Ibáñez J. 海南岛成土母质的地形多样性分析. *土壤学报*, 2004, 41 (2): 170-175
- [15] Ibáñez JJ, Caniego J, García-Álvarez A. Nested subset analysis and taxa-range size distributions of pedological assemblages: Implications for biodiversity studies. *Ecol. Mod.*, 2005, 182 (3/4): 239-256
- [16] 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*, 2006, 37 (4): 776-781
- [17] 檀满枝, 陈杰, 张学雷. 基于 RS 和 GIS 苏州市近20年来城镇扩展对土壤资源的影响研究. *土壤*, 2004, 36 (6): 621-625
- [18] Zhang Y, Peng BZ, Gao X, Yang H. Degradation of soil properties due to erosion on sloping land in southern Jiangsu Province, China. *Pedosphere*, 2004, 14 (1): 17-26
- [19] Atmar W, Patterson BD. The measure of order and disorder in the distribution of species in fragmented habitat. *Oecologia*, 1993, 96: 373-382.
- [20] Atmar W, Patterson BD. The nestedness temperature calculator: A visual basic program, including 294 presence-absence matrices. Chicago: AICS Research, Inc., University Park, NM and The Field Museum, 1995
- [21] Patterson BD, Atmar W. Analysing species composition in fragments // Rheinwald G. *Isolated Vertebrate Communities in the Tropics*. Bonn, 2000: 9-24

Nested Subset Method-Based Analysis of Spatial and Temporal Change in Landuse in Nanjing City Under Its Growing Urbanization

WANG Hui^{1,2}, ZHANG Xue-lei^{1,3}, ZHANG Wei⁴, SUN Yan-ci¹, CHEN Jie¹

(1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China; 2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Institute of Natural Resources and Eco-environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 4 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: More and more agricultural soils have been alienated as a result of rapid urbanization in the Yangtze Delta. With the aid of the nested subset method, RS and GIS technologies tools and the TM images of the years of 1984, 1995, 2000 and 2003, expansion of Nanjing city was analyzed in the past 20 years. Results showed that the degree of fill of the land calculated with a professional software tool (Nested Temperature Calculator Version Nov 1998) has been doubled (from 3.5% in 1984 to 7.2% in 2003), forming a nested pattern, higher and higher in degree; Geographical variation can be found of the fill values of different towns. Some towns or districts showed very clear increase in the fill due to the more rapid growing urbanization while some others did less.

Key words: Nested subset, Fill, Urbanized area, Nanjing