

南京市近 20 年城镇用地扩展对土壤资源数量和质量的影响*

檀满枝^{1,2} 陈杰^{1,†} 张学雷¹ 孙燕瓷¹ 黄辉³

(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 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要 应用 RS 和 GIS 技术, 基于 1984 年、1995 年、2000 年和 2003 年等四个时期的 TM 卫星遥感空间数据, 采用多时相连续对比法分析了南京市过去 20 年来城市化与城镇扩展过程; 同时, 以南京市土壤图、全国第二次土壤普查数据为基础, 并结合补充调查和采样分析数据, 对南京市城镇扩展过程中土壤资源动态变化进行了研究。结果表明: 过去 20 年南京市城市化发展速度较快, 2003 年全市城镇建成区面积较 1984 年增长近 1 倍; 由于城镇规模的快速扩展, 全市土壤资源总面积缩减 7.4%, 且城镇周边地区农业基础设施好、生产力水平较高的土壤资源缩减比例较大, 对区域农业生产和粮食安全产生了不容忽视的影响。

关键词 RS, GIS; 城市化; 城镇扩展; 土壤资源; 南京市

中图分类号 S157; P962

文献标识码 A

90 年代以来, 土地利用/土地覆被变化受到越来越多的关注, 成为全球变化研究的核心领域之一^[1]。许多学者从土地利用的时空变化特征, 尤其在土地利用变化机制方面研究较多, 并取得了系列研究成果^[2~10]。区域土地演化的主导, 城市用地扩展研究是国内外地理学界关注的热点问题之一。利用遥感大量的研究集中在对城市用地扩展的驱动力, 城市扩展模式上, 城市用地与农业用地之间的冲突^[11~16]。土壤作为一种支撑并维护生活的不可再生性自然资源, 是人类生存与发展不可脱离的物质基础, 是城市化发展的空间支撑基础和重要的非生物生态基础。随着城市化的加速发展, 土壤正遭受有史以来最为深刻持久的人为活动的影响, 土壤资源与土壤环境压力日益增长。Imhoff 等^[17,18]利用灯光指数研究了美国城市扩展对土壤资源的影响, 此外诸如此类研究国内外研究较少^[19]。

本文运用 RS 和 GIS 技术, 以不同时期的 TM 遥感影像为基础建立南京市城镇用地扩展数据库。把不同时期的城镇用地扩展数据库与土壤数据库相叠加, 分析不同时期城镇用地扩展侵占土壤资源的类型和数量。并以第二次土壤普查典型剖面数据和补

充调查和采样分析数据为基础, 运用主成分分析法和回归分析法定量评价不同土壤资源的质量水平, 对不同时期城镇扩展侵占土壤资源的质量状况进行了进一步分析, 并与苏州市城镇扩展对土壤资源的影响研究进行了对比分析^[20,21]。

1 材料与方法

1.1 研究区域与数据来源

研究区包括南京市的 11 区 2 县, 总面积为 6 598 km², 人口 640 万, 其中市区面积 947 km², 人口 261.5 万。位于我国东南, 地处辽阔的长江下游, 北接富庶的江淮平原, 东连长江三角洲。用于本研究的主要数据源包括 1971 年 1:5 万南京市地形图、1983 年 1:20 万南京市土壤图和南京市 1984 年、1995 年、2000 年和 2003 年四期 TM 卫星影像图(分辨率为 30m×30m)等图件资料。文字资料包括 1988 年《南京市土壤志》、2003 年《南京统计年鉴》以及分区县相关资料。

1.2 遥感图像解译与数据处理

本研究通过屏幕矢量化方法获取各种空间数

* 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-427)和国家自然科学基金重点项目(40235054)资助

† 通讯作者, E-mail: jchen@issas.ac.cn

作者简介: 檀满枝(1978~), 女, 安徽望江人, 研究实习员, 主要从事土壤资源、遥感与地理信息系统应用研究。E-mail: mztan@issas.ac.cn

收稿日期: 2004-10-20; 收到修改稿日期: 2005-04-14

据。首先扫描 1:5 万研究区地形图和 1:20 万土壤图,通过 GIS 软件对地形图进行空间定位,赋予相应的坐标系统和投影信息。然后以地形图作为基础底图,对研究区土壤图和卫星遥感图像进行几何配准,配准误差控制在 1 个象元以内。这样所有图像具有与地形图相同的高斯克吕格坐标投影。建立投影坐标系为 Beijing1954 中的 Beijing1954 GK zone 20N.prj,类型为 Polygon 的 Shape 文件。首先数字化土壤图,建立土壤图空间数据库,并以第二次土壤普查土属典型剖面数据和补充调查容重数据为基础建立土壤属性数据。其次解译不同时期城镇用地,在目视解译的基础上建立南京市不同时期城镇扩展数据库,从 1984 年到 2003 年由远及近逐年解译城镇用地图斑得到 1984 年城镇用地数据库、1984~1995 年城镇扩展数据库、1995~2000 年城镇扩展数据库和 2000~2003 年城镇扩展数据库。

最后,将不同时期城镇扩展数据库与土壤数据库相叠加,能够获取不同时期城镇扩展占用土壤资源的数据库,对数据库进行统计分析和空间分析,以获取城市化过程中土壤资源流失的类型、数量和质量。

1.3 土壤资源质量评价方法

本研究用于土壤资源质量评价的土壤属性数据主要来自全国第二次土壤普查土属典型剖面,以及 2003 年 6 月补充采样分析数据。野外采样以 GPS 定位,对应土属采取标准剖面,以补充不可缺少的容

重等土壤属性数据。

每个土属选取对土壤质量有重要影响的 11 个因子进行分析。由于土壤质量是许多具有一定关系的因子综合作用的结果。如果变量(因子)太多,则采用主成分分析法以压缩因子数量且保留较充分的变量信息。首先将剖面数据作标准化处理,应用 SPSS 中主成分分析法,在 11 个因子中筛选出耕层厚度、全氮、有机质、全钾、容重、地下水深度、坡度、pH 和 CEC 参与土壤质量的评价。

由于各个因子对土壤质量的影响程度不同,用多元回归法确定各因子对土壤质量的影响大小。以粮食产量(Y)为因变量,以选取的 9 个因子即耕层厚度(X_1)、pH(X_2)、CEC(X_3)、全氮(X_4)、有机质(X_5)、全钾(X_6)、容重(X_7)、地下水深度(X_8)和坡度(X_9)为自变量建立多元回归方程:

$$Y = 5\,536.637 + 1.821X_1 + 1.686X_2 + 13.453X_3 - 2.928X_4 + 19.25X_5 + 14.77X_6 + 3.909X_7 - 2.514X_8 + 1.627X_9$$

取 X_i 的系数绝对值 A_i 大小反映该因子对土壤质量的影响程度, A_i 越大,说明对应的因子对土壤质量的影响越大。将 X_i 的系数绝对值 A_i 占有回归系数的绝对值之和的比重乘 100 确定对应权重 W_i , 即 $W_i = A_i / \sum A_i \times 100$ 。

各参评因子按照其对生产的限制性分为 0、1、2、3、4 等五个等级,并给出各级别的分值(p)分别为 5、4、3、2、1。具体如表 1。

表 1 土壤质量评价指标及因子等级划分

Table 1 Indexes and factor scales for evaluation of soil quality

土壤因子 Factors	0		1		2		3		4		权重 Weights
	指标	分数	指标	分数	指标	分数	指标	分数	指标	分数	
	Criteria	Rating	Criteria	Rating	Criteria	Rating	Criteria	Rating	Criteria	Rating	
耕层厚度 Surface soil depth (cm)	> 17	5	15~ 17	4	13~ 15	3	10~ 13	2	< 10	1	2.94
pH	6~ 7	5	7~ 7.5 5.5~ 6.0	4	7.5~ 8 5.5~ 5.0	3	8~ 8.5 4.5~ 5.0	2	> 8.5 < 4.5	1	2.72
容重 Bulk density ($g\ cm^{-3}$)	1~ 1.1	5	1.1~ 1.2	4	1.2~ 1.3	3	> 1.3	2	< 1	1	6.31
坡度 Gradient ($^{\circ}$)	0~ 2	5	2~ 4	4	4~ 6	3	6~ 8	2	> 8	1	2.63
有机质 Organic matter ($g\ kg^{-1}$)	2.5~ 3.5	5	2.5~ 2	4	1.5~ 2	3	1~ 1.5	2	< 1, > 3.5	1	31.07
全氮 Total N ($g\ kg^{-1}$)	> 0.2	5	0.15~ 0.2	4	0.125~ 0.15	3	0.1~ 0.125	2	< 0.1	1	4.72
全钾 Total K ($g\ kg^{-1}$)	> 2.5	5	2~ 2.5	4	1.5~ 2	3	1.0~ 1.5	2	< 1	1	23.84
地下水深度 Water table (cm)	> 100	5	80~ 100	4	60~ 80	3	40~ 60	2	< 40	1	4.06
CEC ($mol\ kg^{-1}$)	> 25	5	20~ 25	4	15~ 20	3	10~ 15	2	< 10	1	21.71

各评价因素指数是评价因素分值与权重的乘积,各单项评价指数相加得出各土属评价的指数和,再根据评价总指数进行归并排列。按土壤质量高低,南京地区土壤资源质量共分为五个等级。

2 结果与分析

2.1 过去 20 年南京市城镇用地扩展分析

基于 1984 年南京市城镇数据库和 1984~1995 年、1995~2000 年、2000~2003 年三个时期城镇扩展动态数据库,经空间分析、统计分析和计算,获得过去 20 年不同时期南京市城镇扩展面积及速率(表 2)。

经过过去 20 年的城市化与工业化进程,南京全市城镇建成区由 1984 年的 31 600 hm^2 扩大到 2003 年的 75 200 hm^2 (表 2),超过 2 倍。1984~1995 年 10 年间城镇建成区面积基数小且增长缓慢,年均扩展面积较小;1995~2000 年城镇年均扩展面积为

1984~1995 年间的 1.6 倍,表明城市化进程开始全面加速;特别是 2000 年以后,城镇扩展速度显著加快,2000~2003 年短短 3 年间,建成区面积急剧增长 14 400 hm^2 ,几乎相当于过去 11 年的累计扩展面积。综合资料表明,改革开放至今南京城市化发展大致经历了四个不同的历史阶段:即 1985 年以前的第一阶段、1986~1992 年的第二阶段、1993~1999 年的第三阶段、1999 年至今的第四阶段,反映了特定的历史背景下南京城市化由缓慢复苏、明显放慢、稳步上升到加速发展的历史进程。进入 21 世纪以来,南京市城区快速扩展并与周边乡镇逐渐连片,尤其是 2000 年江宁撤县建区,2002 年江浦、六合撤县重组浦口、六合两区,致使城区面积迅速增大,南京市都市圈已逐步形成。1984~1995 年、1995~2000 年及 2000~2003 年三个不同时期城镇年均扩展面积比例为 1:1.6:3.1,年扩展速率分别为 4.8%、5.1%、7.9%(表 2),近 20 年来平均年扩展速率为 6.9%。

表 2 南京市不同时期城镇扩展面积及速率

Table 2 The town areas and extended speed of Nanjing City of different years

时期 Time	初始面积 Area at the initial stage (hm^2)	扩展面积 Expansion in acreage (hm^2)	年均扩展面积 Annual mean expansion in acreage (hm^2)	年扩展速率 Yearly expansion rate (%)
1984~1995	31 600	16 800	1 530	4.8
1995~2000	48 400	12 400	2 480	5.1
2000~2003	60 800	14 400	4 800	7.9

与苏州市相比^[20,21],城镇扩展速度较苏州慢。2003 年苏州市城镇用地总面积是 1984 年的 5.09 倍。全市城镇用地总面积从 1984 年的 17 800 hm^2 扩大到 2003 年的 90 900 hm^2 。2000~2003 年的 3 年间平均每年扩展了 12 900 hm^2 ,是南京市的 2 倍多。苏州全市 1984~1995 年、1995~2000 年、2000~2003 年间平均年扩展面积比例为 1:2.85:9.48,相对年扩展率分别为 7.6%、11.8%、24.7%,比南京市发展的步伐大。

2.2 城镇扩展过程中土壤资源数量动态

南京市所属行政区域分布的主要土壤类型共计 7 个土类、13 个亚类和 32 个土属,分属地带性自然土壤和耕作土壤。北、中部地区主要分布黄棕壤,南部与安徽省接壤处分布小面积红壤。平原、低洼圩区则为大面积的水稻土,经旱耕熟化的黄棕壤多见于黄土岗丘,城镇郊区有菜园土零星分布,灰潮土则分布于沿江冲积平原地区。

为了分析城市化进程对区域土壤资源的影响,首先在 Arcmap 软件中以过去 20 年不同时期南京市城镇扩展动态数据库为输入库(input),先前构建的土壤空间数据库为覆盖库(overlay),二者相交(intersect)获得各个时期的研究区内土壤类型动态变化数据库。以此为基础,统计归纳城镇扩展过程中各种土壤类型的分布面积变化数据(表 3)。

从表 3 可以看出,过去 20 年城市化过程对南京市土壤资源影响巨大,全市土壤分布总面积缩减 42 500 hm^2 ,缩减幅度达 7.4%。全区 32 种土壤类型的分布面积均有不同程度的缩减。其中壤质普通铁渗水耕人为土(系统分类与发生分类的参比见表 4)面积缩减幅度最大,达到 12 000 hm^2 。其次依次为粘壤质普通粘磐湿润淋溶土和粘壤质普通铁聚水耕人为土。被侵占土壤面积变化率为 10% 以上的土壤有 9 种,最高的达 62%,为壤质石灰斑纹肥熟旱耕人为土一级土壤类型,其次为粘壤质肥熟铁质湿

润淋溶土,变化率为 41%,也为一級土壤类型。从土壤发生分类名称来看,南京地区主要以水稻土类面积减少为主,共减少 23 953 hm²,其次是黄棕壤减少面积为 12 586 hm²,二者分别占总的减少面积的

56.30% 和 29.58%。随着城镇扩展,未来某些土壤类型有面临消失的危险,城镇扩展对土壤多样性也构成威胁。除土壤之外,过去 20 年来城市化进程还导致南京市水域面积减少 593 hm²。

表 3 过去 20 年不同时期南京市城镇扩展过程中各土壤类型缩减情况

Table 3 Area decreases of the soils distributed in Nanjing region in the cause of city sprawl during the different time of the past 20 years

编号 No.	土壤类型 Soil types	不同时期被侵占的土壤面积 Soils alienated in different time periods (hm ²)			合计 Total (hm ²)	变化率 Rate (%)
		1984~ 1995	1995~ 2000	2000~ 2003		
		1	粘壤质饱和普通铁质湿润淋溶土 ^①	22		
2	轻砾壤质普通铁质湿润锥形土 ^②	27	0	494	521	2.33
3	壤质艳色普通铁质湿润锥形土 ^③	16	0	105	121	7.86
4	壤质饱和暗色普通铁质湿润锥形土 ^④	0	0	64	64	0.99
5	粘壤质饱和粘磐湿润淋溶土 ^⑤	875	51	2 050	2 976	11.20
6	粘壤质普通粘磐湿润淋溶土 ^⑥	1 780	939	4 460	7 179	9.34
7	粘壤质肥熟铁质湿润淋溶土 ^⑦	964	0	482	1 446	41.40
8	壤质艳色普通铁质湿润淋溶土 ^⑧	0	12	37	49	2.66
9	砂壤质普通铁质渗水耕人为土 ^⑨	77	0	207	284	7.30
10	砾壤质普通铁质湿润锥形土 ^⑩	247	0	209	456	9.03
11	壤质暗沃钙质湿润正常新成土 ^⑪	0	0	13	13	0.55
12	粘壤质红色铁质湿润锥形土 ^⑫	205	0	842	1 047	12.20
13	轻砾粘壤质红色铁质湿润锥形土 ^⑬	276	0	246	522	13.40
14	壤质饱和红色铁质湿润淋溶土 ^⑭	0	0	14	14	1.65
15	轻砾壤质普通铁质渗水耕人为土 ^⑮	0	0	24	24	1.28
16	砂壤质普通筒育水耕人为土 ^⑯	99	17	249	365	11.90
17	粘壤质石灰普通筒育水耕人为土 ^⑰	1 200	418	1 380	2 998	13.40
18	壤质普通铁质渗水耕人为土 ^⑱	2 960	1 290	7 770	12 020	6.86
19	壤质漂白铁质渗水耕人为土 ^⑲	0	141	2 180	2 321	4.22
20	粘壤质普通铁质聚水耕人为土 ^⑳	1 160	124	2 170	3 454	6.63
21	粘壤质变性潜育水耕人为土 ^㉑	265	11	160	436	10.80
22	粘壤质铁质潜育水耕人为土 ^㉒	0	5	123	128	2.51
23	粘质变性潜育水耕人为土 ^㉓	567	0	371	938	7.26
24	粘质石灰变性潜育水耕人为土 ^㉔	0	0	428	428	4.34
25	粘质普通潜育水耕人为土 ^㉕	0	16	325	341	6.56
26	壤质石灰潮湿冲积新成土 ^㉖	56	0	143	199	3.11
27	粘壤质石灰潮湿冲积新成土 ^㉗	33	0	488	521	4.06
28	粘壤质普通暗色潮湿锥形土 ^㉘	0	0	52	52	1.83
29	壤质石灰斑纹肥熟旱耕人为土 ^㉙	2 700	242	135	3 077	62.40
30	粘质普通筒育滞水潜育土 ^㉚	0	0	59	59	0.76
31	粘质普通筒育潮湿锥形土 ^㉛	124	0	92	216	11.10
32	粘壤质石灰筒育滞水潜育土 ^㉜	0	0	1	1	0.09

① Clay bany eutric typic ferric argosol; ② Light gravel loamy typic ferric cambosol; ③ Loamy chr typic ferric cambosol; ④ Loamy eutric dark typic ferric cambosol; ⑤ Clay loamy eutric aryp udic argosol; ⑥ Clay loamy finic ferric argosol; ⑦ Clay chr typic ferric argosol; ⑧ Clay chr typic ferric argosol; ⑨ Sand loamy car typic Fe leachic stagnic anthrosol; ⑩ Gravel loamy typic ferric cambosol; ⑪ Loamy mollie car udic orthic primosol; ⑫ Clay loamy red ferric cambosol; ⑬ Light gravel clay loamy red ferric cambosol; ⑭ Loamy eutric red ferric argosol; ⑮ Light gravel loamy typic Fe leachic stagnic anthrosol; ⑯ Sand loamy typic haplr stagnic anthrosol; ⑰ Clay loamy car typic haplr stagnic anthrosol; ⑱ Loamy typic Fe leachic stagnic anthrosol; ⑲ Loamy albic Fe leachic stagnic anthrosol; ⑳ Clay loamy typic Fe accumulic stagnic anthrosol; ㉑ Clay loamy vertic gleyic stagnic anthrosol; ㉒ Clay loamy Fe leachic gleyic stagnic anthrosol; ㉓ Clay vertic gleyic stagnic anthrosol; ㉔ Clay car vertic gleyic stagnic anthrosol; ㉕ Clay typic gleyic stagnic anthrosol; ㉖ Loamy car aquic alluvic primosol; ㉗ Clay loamy car aquic alluvic primosol; ㉘ Clay loamy typic dark aquic cambosol; ㉙ Loamy car mottlic ferric orthic anthrosol; ㉚ Clay typic haplr stagnic gleyosol; ㉛ Clay typic haplr aquic cambosol; ㉜ Clay loamy car haplr stagnic gleyosol

表4 南京市土壤系统分类和土壤发生分类的参比

Table 4 The reference relationship between Chinese Soil Taxonomy and Genetic Soil Classification

编号 No.	中国土壤系统分类 Chinese Soil Taxonomy	土壤发生分类 Genetic Soil Classification		
		土属 Family	亚类 Subgroup	土类 Group
1	粘壤质饱和普通铁质湿润淋溶土	栗色土属		
2	轻砾壤质普通铁质湿润锥形土	黄砂土属	普通黄棕壤亚类	
3	壤质艳色普通铁质湿润锥形土	麻砂土属		
4	壤质饱和暗色普通铁质湿润锥形土	暗色土属	暗色黄棕壤亚类	黄棕壤
5	粘壤质饱和粘磐湿润淋溶土	岗黄土属		
6	粘壤质普通粘磐湿润淋溶土	黄刚土属	粘盘黄棕壤亚类	
7	粘壤质肥熟铁质湿润淋溶土	菜园黄土		
8	壤质艳色普通铁质湿润淋溶土	黄红土属	黄红壤亚类	红壤
10	砾壤质普通铁质湿润锥形土	卵石砂土		
11	壤质暗沃钙质湿润正常新成土	山黑土属	黑色石灰土亚类	石灰岩
12	粘壤质红色铁质湿润锥形土	山红土属	棕色石灰土亚类	
13	轻砾粘壤质红色铁质湿润锥形土	紫红土属	紫色土亚类	紫色土类
14	壤质饱和红色铁质湿润淋溶土	红砂土属		
9	砂壤质普通铁渗水耕人为土	江沙土属		
15	轻砾壤质普通铁渗水耕人为土	山沙土属	渗育型水稻土亚类	
16	砂壤质普通筒育水耕人为土	河沙土属		
17	粘壤质石灰普通筒育水耕人为土	江淤土属		
18	壤质普通铁渗水耕人为土	马肝土属		
19	壤质漂白铁渗水耕人为土	板浆白土	潜育型水稻土亚类	
20	粘壤质普通铁聚水耕人为土	河淤土属		水稻土
21	粘壤质变性潜育水耕人为土	青肝土属		
22	粘壤质铁渗潜育水耕人为土	青泥白土	脱潜型水稻土亚类	
23	粘质变性潜育水耕人为土	青泥条土		
24	粘质石灰变性潜育水耕人为土	乌栅土属		
31	粘质普通筒育潮湿锥形土	蒜瓣土属		
25	粘质普通潜育水耕人为土	青泥土属	潜育型水稻土亚类	
26	壤质石灰潮湿冲积新成土	沙土属		
27	粘壤质石灰潮湿冲积新成土	淤土属	灰潮土亚类	潮土类
28	粘壤质普通暗色潮湿锥形土	鸡屎土属		
29	壤质石灰斑纹肥熟旱耕人为土	菜园淤土		
30	粘质普通筒育滞水潜育土	草渣土属	沼泽土亚类	沼泽土类
32	粘壤质石灰筒育滞水潜育土	滩土属		

2.3 城镇扩展过程中土壤资源质量动态

在已知城镇扩展过程中不同土壤类型分布面积缩减的前提下,为了揭示城市化对区域土壤资源质量的影响,利用研究区土壤的空间与

内在属性,对受城镇扩展影响的土壤类型进行了质量评价。在过去20年城镇扩展过程中,不同质量水平的土壤类型分布面积缩减情况见表5。

表 5 过去 20 年城镇扩展过程中不同等级土壤资源分布面积缩减情况

Table 5 Distributing area decreases of the soils in different productivity classes in the cause of city sprawl during the past 20 years (hm^2)

等级 Class	评价指数 Score index	土壤类型编号 ¹⁾ No.	侵占面积 Occupied area (hm^2)	侵占率 Lost rate (%)
I	400~ 450	7、21、24、29	5 390	24.10
II	350~ 400	9、17、18、20、22、23、25、27、28、30	20 800	6.93
III	250~ 350	1、4、15、16、19、26	3 250	3.31
IV	200~ 250	3、5、8、13、14	3 680	10.60
V	150~ 200	2、6、10、11、12、31、32	9 420	7.99

1) 土壤类型编号同表 3 No. is the same as Table 3

表 5 数据显示,从 1984~ 2003 年的 20 年间,城镇扩展导致南京市 I、II 级土壤资源分布面积缩减 26 200 hm^2 , III、IV 级土壤资源面积缩减 6 930 hm^2 , V 级土壤资源面积缩减 9 420 hm^2 。其中, I、II 级土壤资源缩减面积为全市土壤资源缩减总面积的 62%, I 级土壤资源缩减面积是其 1984 年分布面积的 24.1%。这一方面表明城镇扩展主要侵占周边地区地形平坦、交通水利等基础设施较好、质量水平较高的优质土壤资源;另一方面,也从侧面显示出快速城市化进程导致区域农业生产与粮食安全压力不断增大。由于城市化和工业化加速发展,以及农业结构调整等其他因素影响,南京市耕地面积持续减少,粮食播种面积和总产逐年下降。2003 年粮食继续减产,总产不足 $10 \times 10^8 \text{ kg}$,与 1996 年相比,下降幅度达 45%,全市粮食缺口首次超过当年产量,成为江苏省第一个粮食调入市。V 级土壤资源侵占面积为全市土壤资源缩减总面积的 22%,说明城镇扩展不但主要侵占优质的土壤资源,同时也侵占了部分质量次级的土壤资源。这可能与随着经济技术的发展,城镇扩展的限制因素减少,城镇用地在空间上向水域、农田和山地多方位扩展或实施耕地保护政策有关。与苏州市相比^[20],苏州市近 20 年来 31 种土属有 27 种被城镇扩展所侵占。城镇扩展共占用一类土壤资源总面积为 50 800 hm^2 ,占 72%,二类土壤资源总面积为 19 100 hm^2 ,三类土壤资源总面积为 600 hm^2 。与南京地区相比,苏州市城镇扩展更集中在优质的土壤资源上。

3 结 论

1984~ 2003 年 20 年间南京市城市化进程经历了不同发展阶段,整体而言发展速度较快,2003 年全市城镇建成区面积 75 200 hm^2 ,为 1984 年的 2 倍多。2000 年以来,南京市城市化进程呈加速发展态

势,城镇扩展速率为过去 11 年平均水平的近 2 倍,扩展面积占 20 年来城镇扩展总面积的 33.1%。

受城镇快速扩展影响,过去 20 年来南京市土壤资源分布面积缩减 7.4%,全市范围内所有自然与农业土壤类型的分布面积呈不同程度的下降。城镇扩展首先侵占周边地区地势平坦、交通方便、水源充足、土壤生产力水平较高的熟化农田与菜地,过去 20 年间南京市 I、II 级土壤资源缩减面积占全市土壤资源缩减总面积的 60% 以上,另有 22% 的 V 级土壤资源被侵占。

城市化过程中土壤资源特别是耕地资源面积的大幅度缩减,已经严重影响区域农业生产与粮食安全,如何在城市化高速发展背景下,在区域土地资源总量供给有限的条件下,实施最严格的耕地保护措施,实现资源的优化配置和集约利用、调控和提高生态环境质量是南京市城市化与可持续发展过程中面临的重大挑战和重要课题。

参 考 文 献

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化国际研究动向. 地理学报, 1996, 51(6): 553~ 558.
Li X B. A review of the international researches on land use/cover change (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 1996, 51(6): 553~ 558
- [2] IIASA. Modeling land use and land cover changes in Europe and Northern Asia. 1999 Research Plan, 1998
- [3] Sellers P J, Meeson B W, Hall F G, et al. Remote sensing of the land surface for studies of global change: Models—algorithms—experiments. Remote Sensing of Environment, 1995, 51: 3~ 26
- [4] 史培军, 陈晋, 潘耀忠. 深圳市土地利用变化机制分析. 地理学报, 2000, 55(2): 151~ 160. Shi P J, Chen J, Pan Y Z. Land use change mechanism in Shenzhen City (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 2000, 55(2): 151~ 160
- [5] 庄大方, 邓祥征, 战金艳, 等. 北京市土地利用变化的空间分布特征. 地理研究, 2002, 21(6): 667~ 674. Zhuang D F, Deng X Z, Zhan J Y, et al. A Study on the spatial distribution of land use change in Beijing (In Chinese). Geographical Research,

- 2002, 21(6): 667~ 674
- [6] Amundson R, Guo Y, Gong P. Soil diversity and land use in the United States. *Ecosystems*, 2003, 6: 470~ 482
- [7] Ho S P S, Lin G C S. Converting land to nonagricultural use in China's coastal provinces: evidence from Jiangsu. *Modern China*, 2004, 30(1): 81~ 112
- [8] Ralph J A, Jeffrey D K, Lichtenstein M. Urbanization on the US landscape: Looking ahead in the 21st century. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69: 219~ 234
- [9] Zhao G X, Lin G, Fletcher J J, *et al.* Cultivated land changes and their driving forces: A satellite remote sensing analysis in the Yellow River Delta, China. *Pedosphere*, 2004, 14(1): 93~ 102
- [10] Kombe W J. Land use dynamics in peri-urban areas and their implications on the urban growth and form: The case of Dar es Salaam, Tanzania. *Habitat International*, 2005, 29: 113~ 135
- [11] 黎夏, 叶嘉安. 利用遥感监测和分析珠江三角洲的城市扩展过程——以东莞市为例. *地理研究*, 1997, 16(4): 56~ 62. Li X, Ye J A. Application of remote sensing for monitoring and analysis of urban expansion: A case study for Dongguan (In Chinese). *Geographical Research*, 1997, 16(4): 56~ 62
- [12] 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. He C Y, Shi P J, Chen J, *et al.* Process and mechanism of urbanization in Beijing area (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(3): 363~ 371
- [13] 史学正, 张定祥, 潘贤章. 近 35 年苏南典型地区的城镇扩展动态研究——以 1966~ 2001 年常熟市为例. *土壤学报*, 2002, 39(6): 780~ 787. Shi X Z, Zhang D X, Pan X Z, *et al.* Dynamic expanding of typical city in the south Jiangsu Province in recent 35 years: A case study of Changshu City from 1966 to 2001 (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(6): 780~ 787
- [14] 田光进, 庄大方. 基于遥感和 GIS 的中国城镇用地扩展特征. *生态学杂志*, 2004, 23(1): 44~ 47. Tian G J, Zhuang D F. Spatial characteristics of urban expansion in China based on remote sensing and GIS (In Chinese). *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 44~ 47
- [15] 刘纪远, 王新生, 庄大方, 等. 凸壳原理用于城市用地空间扩展类型识别. *地理学报*, 2003, 58(6): 885~ 892. Liu J Y, Wang X S, Zhuang D F, *et al.* Application of convex hull in identifying the types of urban land expansion (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(6): 885~ 892
- [16] 马荣华, 陈雯, 陈小卉, 等. 常熟市城镇用地扩展分析. *地理学报*, 2004, 59(3): 418~ 425. Ma R H, Chen W, Chen X H, *et al.* Town and construction land growth of Changshu City (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(3): 418~ 425
- [17] Imhoff M L, Lawrence W T, Elvidge C D, *et al.* Using nighttime DMSP/OLS images of city lights to estimate the impact of urban land use on soil resources in the US. *Remote Sensing of Environment*, 1997, 59: 105~ 117
- [18] Imhoff M L, Lawrence W T, Stutzer D, *et al.* Assessing the impact of urban sprawl on soil resources in the United States using nighttime "city lights" satellite images and digital soils maps. 2003-11-20. <http://biology.usgs.gov/luhna/chap3.html>
- [19] 胡伟平, 吴志峰, 何建邦. RS 与 GIS 支持下珠江三角洲城镇近期发展对土壤资源利用的影响分析. *自然资源学报*, 2002, 17(5): 549~ 555. Hu W P, Wu Z F, He J B. Analysis of the impacts of recent urban development in the Pearl River Delta on soil resources based on RS and GIS (In Chinese). *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(5): 549~ 555
- [20] 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, 37(6): 621~ 625. Tan M Z, Chen J, Zhang X L. Assessment of the impact of urbanization on soil resource in Suzhou City in the last 20 years based on the technology of RS and GIS (In Chinese). *Soils*, 2004, 37(6): 621~ 625
- [21] Zhang X L, Tan M Z, Chen J, *et al.* Impact of land use change on soil resources in the peri-urban area of Suzhou City. *The Journal of Geographical Sciences*, 2005, 15(1): 71~ 79

IMPACTS OF URBAN EXPANSION ON QUANTITY AND QUALITY OF SOILS IN NANJING IN THE PAST TWENTY YEARS

Tan Manzhi^{1,2} Chen Jie^{1,2†} Zhang Xuelei¹ Sun Yanci¹ Huang Hui³

(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 100039, China*)

(3 *College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China*)

Abstract Based on spatial data originating respectively from the TM satellite images of 1984, 1995, 2000 and 2003, a multi-time phase-successive comparison study was conducted on urbanization and city sprawl in the Nanjing region using RS and GIS techniques. Meanwhile, impacts of city sprawl on the regional soil resources were analyzed based on data from the digital soil map of the city, files of the second national soil survey and supplementary investigations. Results obtained in the study indicate that the urban area of the city increased very fast in the past two decades, suggesting a rapid regional urbanization process. The total built up area of the city increased by nearly 100% during the period from 1984 to 2003. As a result of the rapid urbanization, the soil resources of Nanjing reduced by 7.4% in acreage. Especially, the soil resources with high productivity and favorable facilities in the suburbs were decreasing much faster because of their close contiguity to the expanding city. Finally, it might be concluded that rapid urbanization was posing an increasing pressure on soil resources, of which the impact on regional agricultural production and food security allows no neglect.

Key words RS & GIS techniques; Urbanization; City sprawl; Soil resource; Nanjing