

# 区域土地利用变化的生态系统服务价值响应 ——以南京市为例<sup>\*</sup>

王伟林, 黄贤金, 钟太洋

(南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210093)

**摘 要:**运用景观生态学中的结构分析定量方法以及威弗 - 托马斯组合类型分析法对南京市 1997 - 2007 年的土地利用结构和区位进行分析, 计算生态系统服务价值变化, 并运用统计分析方法研究土地利用结构指数与生态系统服务价值之间的关系。研究结果表明: 1997 - 2007 年土地利用结构呈现多样化和均匀化, 土地利用区位组合数由 3 增加到 4, 生态系统服务价值总体呈现增加的趋势, 生态系统服务价值与土地利用结构呈线性关系。最后根据研究结论提出相关的政策建议。

**关键词:**土地利用结构; 生态系统服务; 统计分析; 南京市

**中图分类号:** F301.24

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2009)01-0212-04

## Area Land Use Change Responses to the Ecosystem Service Value —A Case Study of Nanjing City

WANG Wei-lin, HUANG Xian-jin, ZHONG Tai-yang

(School of Geographic and Oceanographic Sciences of Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** The paper analyzed land use structure and land use location of Nanjing city from 1997 to 2007, using structural analysis methods in landscape ecology and Weaver-Thomas combination analysis method. The paper also calculated the changes of ecosystem service values. What's more, the paper discussed the relationship between land use structural index and ecosystem service values with statistical analysis method. The results showed that the diversity index and evenness of land use structure increased, the number of land use location combination changed from three to four, ecosystem service values increased as time went by. It is also indicated that ecosystem service values had a liner correlation with land use structure. At last, the paper gave several suggestions according to the research conclusion.

**Key words:** land use structure; ecosystem service values; statistical analysis; Nanjing city

土地利用和土地覆被变化已经成为全球研究的热点问题。土地利用研究的焦点之一在于土地利用变化的剧烈地区<sup>[1]</sup>。人类土地利用活动对土地覆被的影响必然影响到生态系统价值的变化。土地利用结构的变化引起各种土地利用类型种类、面积和空间位置的变化, 即导致各类生态系统价值发生变化<sup>[2]</sup>。

土地利用变化引起生态系统服务价值的变化引起了学者广泛关注<sup>[3-12]</sup>。城市土地利用变化与生态系统价值变化有密切的关系, 本文将对南京市 1997

- 2007 年土地利用结构和土地利用区位变化进行分析, 并对由此引起的生态系统服务价值变化进行计算, 分析土地利用结构、区位与生态系统服务价值变化之间的相互作用和关系, 为南京市土地资源的可持续利用、生态环境的提高提供参考。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域

南京位于北纬 31°14' - 32°36', 东经 118°22' -

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2008-06-03

基金项目: 科技部“十一五”科技支撑项目(2006BAJ05A03); 国土资源部土地利用重点实验室开放研究项目(08-03); 江苏省国土资源厅“江苏省环太湖地区国土资源承载力与调控措施研究”联合资助

作者简介: 王伟林(1983 - ), 男, 山东海阳人, 硕士研究生, 研究方向为土地资源管理、资源经济。E-mail: wwlx1983@yahoo.com.cn

通信作者: 黄贤金(1968 - ), 男, 江苏扬中人, 教授, 博士生导师, 研究方向为土地利用与政策、资源经济及循环经济。E-mail: hxj369@njnu.edu.cn

119 94 ,土地总面积 6 282.31 km<sup>2</sup> ,地处我国东南部的长江下游 ,经济发达 ,城市化、工业化快速发展 ,土地利用变化剧烈。1997 - 2007 年 ,耕地减少了 61 354.49 hm<sup>2</sup> ,年均减少 6 135.4 hm<sup>2</sup> ,建设用地增加了 36 717.27 hm<sup>2</sup> ,年均增加 3 671.7 hm<sup>2</sup> 。

1.2 研究方法

采用景观生态学中的土地利用结构定量分析模型<sup>[13]</sup> ,对 1997 - 2007 年的土地利用变更数据分析 ,土地面积按照耕地、园地、林地、牧草地、其他农用地、居民点和独立工矿用地、交通运输用地、水利设施用地、未利用土地和其他土地 10 类进行统计分析。

1.2.1 多样性分析模型 采用吉布斯 - 马丁多样化指数 (GM) 和景观类型多样性指数 (H) ,公式为

$$GM_i = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{10} x_{ij}^2}{(\sum_{j=1}^{10} x_{ij})^2} \tag{1}$$

式中 :GM<sub>i</sub> ——第 i 年南京市土地利用多样化指数 ; x<sub>ij</sub> ——南京市第 i 年第 j 类型土地面积。

$$H_i = - \sum_{j=1}^{10} P_{ij} \ln P_{ij} \tag{2}$$

式中 :H<sub>i</sub> ——南京市土地利用的复杂度 ; P<sub>ij</sub> ——南京市第 i 年第 j 类型土地面积占土地总面积的比例。

1.2.2 集中性分析模型 土地利用集中性主要反映研究区内土地利用类型面积分布的聚集程度及主要土地利用类型对整个研究区的控制程度。

(1) 优势度指数 :该指数用于测度区域土地利用类型结构中占支配地位的 1 个或几个利用类型的控制程度。

$$D_i = \frac{H_{\max}}{H_{\max} + \sum_{j=1}^{10} P_{ij} \ln P_{ij}} \tag{3}$$

式中 :D<sub>i</sub> ——南京市第 i 年土地利用优势度 ; m ——给定区域土地利用类型数 ,文中 m = 10 ; H<sub>max</sub> ——当南京市各土地利用类型面积相等时的多样性指数。

(2) 均匀度指数 :用于表征各土地利用类型的分配均匀度。

$$E_i = \frac{H_i}{H_{\max}} \times 100 \% \tag{4}$$

$$H_j = - \ln \left( \sum_{j=1}^{10} P_{ij}^2 \right) \tag{5}$$

式中 :E<sub>i</sub> ——第 i 年南京市土地利用的均匀度指数 ; H<sub>j</sub> ——修正后的 Simpson 指数 ,其余参数同上。

1.2.3 土地利用区位模型 不同时期段土地利用类型组合特征并不相同 ,借助威弗 - 托马斯组合系数法<sup>[14]</sup> 分析南京市 1997 - 2007 年的土地利用区位变动及组合特征类型。威弗 - 托马斯 (Weaver-Thomas) 组合系数法 :

(1) 把南京市各类型土地面积占土地总面积的比例由大到小排列。

(2) 假设土地只分配给一种类型 ,这一种类型的假设分布就为 100 % ,其它类型的假设分布为 0 ;如果分配给前两种类型 ,那么这两种类型的假设分布就为 50 % ,其他类型的假设分布为 0 ;依次类推 ,如果土地均匀分配给 10 种类型 ,那么每种类型的假设分布就为 10 % 。

(3) 计算和比较每种假设分布与实际分布之差的平方和。

(4) 选择假设分布与实际分布之差的平方和最小的假设分布组合类型 (最小组合类型所对应的组合类型) ,即为该区域土地组合类型。组合系数 (E) 等于每种假设分布与实际分布之差的平方和。

1.2.4 生态系统服务价值评价方法 1997 年 , Costanza R<sup>[15]</sup> 等提出了生态系统服务价值估算方法。谢高地等<sup>[16-18]</sup> 针对其中不足 ,参考其可靠的部分成果 ,在对 200 位生态学者进行问卷调查的基础上 ,制定出了中国生态系统生态服务价值当量因子表 ,即不同用地类型单位面积每年的服务价值。参照这一研究成果 ,根据谢高地等<sup>[16]</sup> 对生态价值的区域修正系数 (江苏为 1.74) ,制定南京市土地利用方式的生态服务价值当量因子表 ,以此表为基础进行南京市生态系统服务价值的计算 ,其公式为

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \cdot C_i) \tag{6}$$

式中 :ESV ——年生态系统服务价值 (元/a) ; A<sub>i</sub> ——研究区第 i 种土地利用类型的土地面积 (hm<sup>2</sup>) ; C<sub>i</sub> ——第 i 种土地利用类型的单位生态服务价值量 [元/(hm<sup>2</sup> · a)] 。

生态服务价值进行计算时 ,耕地对应农田 ,园地取森林与草地的平均值 ,林地对应森林 ,牧草地对应草地 ,其他农用地 (主要为坑塘水面和农田水利) 、水利设施用地对应水体 ,居民地和独立工矿用地、交通运输用地、未利用地对应荒漠 ,其他土地 (主要是湖泊、河流和滩涂等) 取水体和湿地的平均值。

2 结果与分析

2.1 南京市土地利用变化特征分析

1997 - 2007 年 ,南京市土地利用结构多样性指数、景观类型多样性指数、均匀度指数总体呈现逐渐增加趋势 ,分别从 1997 年的 0.729 5 ,1.345 6 ,0.584 4 增加到 2007 年的 0.776 6 ,1.376 0 ,0.597 6 ;而优势度指数总体上呈现逐年减小的态势 ,从 1997 年的 0.957 0 下降到 2007 年的 0.926 6 。

表 1 南京市生态系统单位面积的生态服务价值表

元/ (hm<sup>2</sup> · a)

项 目	森林	草地	农田	湿地	水体	荒漠
气体调节	5388.78	1231.75	769.78	2771.30	0.00	0.00
气候调节	4157.03	1385.74	1370.25	26327.77	708.18	0.00
水源涵养	4926.81	1231.75	923.77	23864.45	31377.77	46.11
土壤形成与保护	6004.57	3002.37	2247.91	2632.79	15.31	30.80
废物处理	2017.01	2017.01	2525.09	27990.68	27990.68	15.31
生物多样性保护	5019.20	1678.23	1093.07	3849.23	3833.74	523.39
食物生产	153.99	461.97	1539.73	461.97	153.99	15.31
原材料	4003.04	76.91	153.99	107.71	15.31	0.00
娱乐文化	1970.72	61.60	15.31	8544.97	6681.95	15.31
合 计	33641.16	11147.31	10638.88	96550.86	70776.94	646.24

表 2 南京市 1997 - 2007 年土地利用结构指数

年份	$GM_i$	$H_i$	$D_i$	$E_i$
1997	0.7295	1.3456	0.9570	0.5844
1998	0.7303	1.3467	0.9560	0.5849
1999	0.7316	1.3463	0.9563	0.5847
2000	0.7328	1.3473	0.9553	0.5851
2001	0.7386	1.3539	0.9487	0.5880
2002	0.7653	1.3844	0.9182	0.6012
2003	0.7728	1.3967	0.9059	0.6066
2004	0.7758	1.3917	0.9109	0.6044
2005	0.7751	1.3830	0.9196	0.6006
2006	0.7763	1.3809	0.9217	0.5997
2007	0.7766	1.3760	0.9266	0.5976

通过土地利用的区位组合可以看出,南京市土

地利用的组合特征可以分成两个阶段:1997 - 2001 年,南京市土地利用组合类型数为 3,土地利用组合类型是:耕地、居民点及独立工矿用地和其他农用地;2002 - 2007 年,南京市土地利用组合类型数为 4,土地利用组合类型增加了林地,这说明了林地在这个阶段增加的面积较多,林地与耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地共同组成了南京市土地利用的特征组合。南京市林地面积从 2001 年的 62 521.81 km<sup>2</sup> 增加到 2002 年的 71 842.75 km<sup>2</sup>,林地占整个土地总面积的比例从 9.50 % 上升到 10.91 %。2001 - 2007 年林地面积一共增加了 11 249.55 km<sup>2</sup>。

表 3 南京市土地特征类型组合表

年份	组合类型	组合类型数	组合系数 ( $I_i$ )
1997	耕地、居民地及独立工矿用地、其他农用地	3	921.52
1998	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地	3	915.65
1999	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地	3	904.74
2000	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地	3	895.33
2001	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地	3	839.81
2002	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地、林地	4	553.35
2003	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地、林地	4	475.32
2004	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地、林地	4	443.12
2005	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地、林地	4	442.25
2006	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地、林地	4	432.96
2007	耕地、居民点及独立工矿用地、其他农用地、林地	4	429.68

2.2 南京市生态系统服务价值变化分析

从表 4 中可以看出,1997 - 2007 年南京市生态系统服务价值呈逐年增加的态势,从 1997 年的 178.316 亿元增加到 2007 年的 185.016 亿元。具体可以分成两个阶段:第一阶段,1997 - 2001 年,生态系统服务价值缓慢变化,生态系统服务价值 5 a 增

加了 0.047 亿元;第二阶段,2001 - 2007 年,生态系统服务价值变动较为剧烈,2002 年生态系统服务价值比 2001 年增加了 6.732 亿元,增加了 3.78 %。2001 - 2003 年,生态系统服务价值年均增加 3.05 亿元。2004 - 2007 年,生态系统呈下降趋势,生态系统服务价值年均减少 1.07 %。

表 4 1997 - 2007 年南京市生态系统的服务价值											亿元
不同土地利用类型	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
耕地	32.360	32.289	32.149	32.025	31.370	27.832	26.652	26.126	26.128	25.926	25.832
园地	2.542	2.551	2.520	2.521	2.318	2.255	2.141	2.125	2.106	2.127	2.189
林地	20.478	20.383	20.339	20.410	21.033	24.169	24.382	24.950	24.870	24.879	24.818
牧草地	0.208	0.207	0.206	0.208	0.200	0.082	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005
其他农用地	59.394	59.442	59.230	59.265	61.313	72.917	78.009	77.532	77.192	76.867	76.264
居民点及独立工矿用地	0.641	0.644	0.653	0.659	0.677	0.762	0.791	0.818	0.830	0.844	0.857
交通运输用地	0.042	0.043	0.046	0.048	0.050	0.056	0.065	0.066	0.069	0.073	0.075
水利设施用地	14.102	14.160	14.162	14.165	14.233	11.520	12.845	12.839	12.823	12.795	12.785
未利用地	0.082	0.081	0.082	0.082	0.085	0.090	0.090	0.088	0.080	0.078	0.074
其他土地	48.468	48.465	48.395	48.135	47.084	45.413	42.540	42.466	42.307	42.262	42.117
合计	178.316	178.266	177.783	177.519	178.363	185.095	187.521	187.016	186.411	185.855	185.016

1997 - 2007 年,生态系统服务价值增加的土地类型有林地、其他农用地、居民点及独立工矿用地和交通运输用地 4 种,而生态系统服务价值减少的土地类型有耕地、园地、牧草地、水利设施用地、未利用地和其他土地 6 种。由于生态系统服务价值增加的幅度大于减少的幅度,使得生态系统服务价值呈现增加的态势。2007 年,生态系统服务价值中贡献率最大的土地类型是:其他农用地(41.22%),其他依次是:其他土地(22.76%)、耕地(13.96%)、林地(13.41%)水利设施用地(6.91%)、园地(1.18%)、居民点及独立工矿用地(0.46%)、交通运输用地(0.04%)、未利用地(0.04%)、和牧草地(0)。

3.3 生态系统服务价值与土地利用结构相互关系

对生态系统服务价值与多样性指数( $GM$ )、景观类型多样性指数( $H$ )、优势度指数( $D$ )、均匀度指数( $E$ )和土地利用组合系数( $I_i$ )进行相关分析:生态系统服务价值与多样性指数、景观类型多样性指数、优势度指数、均匀度指数和土地利用组合系数的相关性分别为 0.976, - 0.985, 0.985, 0.985 和 - 0.976。运用 SPSS13.0 软件对 1997 - 2007 年的生态系统系统服务价值与多样性指数( $GM$ )、景观类型多样性指数( $H$ )、优势度指数( $D$ )、均匀度指数( $E$ )和土地利用组合系数( $I_i$ )进行多元线性回归分析,采用逐步回归的方法,得到公式:

$$ESV = - 49.276 + 284.699 X_E + 82.854 X_{GM}$$

$(F = 310.143, sig = 0.000, R^2 = 0.987)$

3 结 论

南京市土地利用多样化指数、景观类型多样化指数和均匀度指数均呈现总体增加的趋势,优势度有下降趋势。这表明南京市土地利用结构趋于均匀化和多样化。而土地利用组合系数在 2002 年由 3 变成 4,土地利用特征组合类型增加了林地,说明林

地面积比例显著上升,因而增加了南京市生态系统服务价值。

1997 - 2007 年南京市生态系统服务价值呈现缓慢上升的趋势,2007 年生态系统服务价值达到了 185.016 亿元,主要是由于生态系统服务价值系数较高的其他农用地、林地等土地类型的生态系统服务价值增量抵消了耕地、水利设施用地和其他土地等生态系统服务价值下降的影响。

土地利用结构的多样化和均匀化有利于提高区域生态系统服务价值。提高土地集约利用水平,控制居民点及独立工矿用地等建设用地规模,增加林地、水域(其他农用地、其他土地)等类型的土地数量可以增加生态系统服务价值。

参考文献:

[1] 陈佑启, Peter H V, 唐华俊, 等. 我国土地利用变化及其对粮食生产影响的建模分析[J]. 中国土地科学, 2000, 14(4): 22-26.

[2] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报, 2001, 16(1): 47-53.

[3] 王新华, 张志强. 黑河流域土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 生态环境, 2004, 13(4): 608-611.

[4] 王宗明, 张树清, 张柏. 土地利用变化对三江平原生态系统服务价值的影响[J]. 中国环境科学, 2004, 24(1): 125-128.

[5] 吴后建, 王学雷, 宁龙梅, 等. 土地利用变化对生态系统服务价值的影响:以武汉市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 185-190.

[6] 闵捷, 高魏, 李晓云, 等. 武汉市土地利用与生态系统服务价值的时空变化分析[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 170-174.

[7] 王成, 魏朝富, 邵景安, 等. 区域生态服务价值对土地利用变化的响应:以重庆市沙坪坝区为例[J]. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1485-1489.

油田土地的利用都是土地的复合利用,在油田内有多种土地利用类型,每种土地利用类型又有自身的利用要求与特点,以往油田只关注油田生产设施用地的利用,对油田内其它土地的利用认识不足,所以对油田土地的复合利用研究不够,没有将油田内其它土地充分保护和利用起来,造成油田内其它用地污染、退化严重,土地利用效益很低。随着土地价值逐渐被人们所认识和我国土地利用形势的严峻,油田内其它用地的合理利用问题急需很好的解决,所以在复合区的合理划分,复合利用模式的合理选择,油田地面工程设施建设工艺、技术的革新,生产设施的整体优化与合理布局等方面的深入研究是十分必要的,它对土地资源的合理利用与保护有着深远的意义。

(2) 全面及时地开展大庆油田土地动态复垦、整治工作。由于石油的开采对土地造成了一定程度的破坏与污染,油田开采对土地的破坏是阶段性的,油田初期钻井会对土地造成一定的破坏,之后的二次加密和即将开始的三次加密还会对土地造成进一步的破坏,所以对油田土地的复垦来说也是动态性的,在油井加密的间隔时间进行土地的复垦与生态的初步恢复,总之油田土地的复垦、整治工作要贯穿于油田开采始终,立足于复垦方向的选择,资金的落实,技术的发展,专业队伍的打造等各个方面。

(3) 合理规划,严格管理油田土地的利用。大庆油田区土地面积广大,要科学制定油田土地利用规

划,以规划为指导科学合理的利用好油区内的土地,油田土地管理部门要与地方土地相关部门协同配合,严格管理好油田区内各类土地的利用,明确油田内各类土地的责、权、利,进行油田滚动建设的同时,合理的规划其他各类用地的利用。

#### 参考文献:

- [1] 刘勇,刘友兆,徐萍. 区域土地资源生态安全评价:以浙江嘉兴市为例[J]. 资源科学,2004,26(3):69-75.
- [2] 张虹波,刘黎明,张军连,等. 黄土丘陵区土地资源生态安全及其动态评价[J]. 资源科学,2007,29(4):193-200.
- [3] 吴次方,鲍海军. 土地资源安全研究的理论与方法[M]. 北京:气象出版社,2004:131-133.
- [4] 李玉平,蔡运龙. 河北省土地生态安全评价[J]. 北京大学学报:自然科学版,2007,43(6):784-789.
- [5] 刘欣,葛京凤,冯现辉. 河北太行山区土地资源生态安全评价[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(5):68-74.
- [6] 刘世梁,郭旭东,傅伯杰,等. 道路网络对黄土高原过渡区土地生态安全的影响[J]. 干旱区研究,2006,23(1):126-132.
- [7] 马瑛. 北方农牧交错带土地利用生态安全评价[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(7):53-58.
- [8] 付强. 农业水土资源系统分析与综合评价[M]. 北京:中国水利水电出版社,2005:350-352.
- [9] 汤吉,朱云峰,李昭阳,等. 东北农牧交错带土地生态环境安全指标体系的建立与综合评价:以镇赉县为例[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(1):119-124.
- [10] 岳书平,张树文,闫业超. 东北样带土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 地理学报,2007,62(8):879-886.
- [11] 刘庆,王静,史衍玺,等. 经济发达地区土地利用变化与生态服务价值损益研究:以浙江省慈溪市为例[J]. 中国土地科学,2007,21(2):18-24.
- [12] 吴建寨,李波,张新时,等. 天山北坡土地利用/覆被及生态系统服务功能变化[J]. 干旱区地理,2007,30(5):728-735.
- [13] 张健,濮励杰,彭补拙. 基于景观生态学的区域土地利用结构变化特征[J]. 长江流域资源与环境,2007,16(5):578-583.
- [14] 段瑞娟,郝晋珉,张洁瑕. 北京区位土地利用与生态服务价值变化研究[J]. 农业工程学报,2006,22(9):21-28.
- [15] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The Value of the world's ecosystem service and natural capital[J]. Nature,1997,387:253-260.
- [16] 谢高地,肖玉,甄霖,等. 我国粮食生产的生态服务价值研究[J]. 中国生态农业学报,2005,13(3):10-13.
- [17] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2002,18(2):189-196.
- [19] 谢高地,张包捏,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报,2001,16(1):47-53.

(上接第 215 页)

- [8] 谢春华,王克林,陈洪松,等. 土地利用变化对洞庭湖区生态系统服务价值的影响[J]. 长江流域与环境,2006,15(2):191-195.
- [9] 蔡邦成,陆根法,宋莉娟,等. 土地利用变化对昆山生态系统服务价值的影响[J]. 生态学报,2006,26(9):3005-3010.
- [10] 岳书平,张树文,闫业超. 东北样带土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 地理学报,2007,62(8):879-886.
- [11] 刘庆,王静,史衍玺,等. 经济发达地区土地利用变化与生态服务价值损益研究:以浙江省慈溪市为例[J]. 中国土地科学,2007,21(2):18-24.
- [12] 吴建寨,李波,张新时,等. 天山北坡土地利用/覆被及生态系统服务功能变化[J]. 干旱区地理,2007,30