

# 基于 LUCC 的生态服务价值动态分析及预测

## ——以徐州市区为例

谭 敏<sup>1</sup>, 褚克坚<sup>1</sup>, 华祖林<sup>1</sup>, 郝 明<sup>2</sup>, 张满满<sup>2</sup>

(1. 河海大学 环境学院, 南京 210098; 2. 中国矿业大学 环境与测绘学院, 江苏 徐州 221116)

**摘 要:**为城市生态文明建设提供参考,基于 5 期遥感数据分类的土地覆盖/利用信息,对徐州市城区生态服务价值进行动态分析,并利用马尔科夫模型对其进行稳态预测。结果表明:1995—2010 年间土地利用方式发生很大变化,1995 年鼓楼区、云龙区、泉山区农田占地 53.5%,69.02%,40.04%,2010 年分别下降为 34.4%,46.18%,26.27%。生态服务价值相应的由 1995 年的 2.92 亿元、1.75 亿元、1.51 亿元减少到 2010 年的 1.55 亿元、1.06 亿元、1.26 亿元。达到稳定状态时,建筑用地面积大幅下降,农田、林地和水域面积显著增加,鼓楼区、云龙区、泉山区生态服务价值分别上升为 2.99 亿元、1.64 亿元、1.47 亿元。研究结果表明,控制农田、林地和水域等向建筑物用地转移,对加强城市生态文明建设具有重要意义。

**关键词:**土地覆盖/利用;生态服务价值;马尔科夫模型

**中图分类号:**F301.2;P962

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)02-0297-05

## Assessment and Prediction of Ecosystem Service Value Based on Land Use and Cover Change —A Case Study of Xuzhou City, Jiangsu Province

TAN Min<sup>1</sup>, CHU Ke-jian<sup>1</sup>, HUA Zu-lin<sup>1</sup>, HAO Ming<sup>2</sup>, ZHANG Man-man<sup>2</sup>

(1. College of Environmental, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. School of Environment

Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou, Jiangsu 221116, China)

**Abstract:** To supply consultation to the city eco-civilization, the ecological service value of Xuzhou City was evaluated and predicted dynamically by using the Markov chain model based on the five periods of land use information of remote sensing images. The results show that the land use changed greatly from 1995 to 2010. Specially, the farmland area of Gulou, Yunlong and Quanshan districts decreased from 53.5%, 69.02% and 40.04% to 34.4%, 46.18% and 26.27%, as a result, the total ecosystem service value also decreased from 292, 175 and 151 million yuan to 155, 106 and 126 million yuan. When the steady state of ecology was reached, the ecosystem service values of Gulou, Yunlong and Quanshan districts grew to 299, 164 and 147 million yuan due to the increase of farmland, forest and water areas. Results indicate that it is very important for ecological civilization to control the transformation of farmland, woodland and waters to building sites.

**Key words:** land cover/use; ecosystem value; Markov model

生态系统服务价值是指生态系统及生态过程中直接或间接提供人类赖以生存和发展的生命支持的价值。对生态系统服务价值的核算可客观、科学地反映人类生活和生产质量<sup>[1]</sup>,也较为全面地反映了自然资源价值和生态环境质量,因此具有较为重要的现实意义与科学价值。土地利用/覆盖变化是人类活动与

生态环境相互作用的集中体现,它的变化直接影响生态系统的结构和功能<sup>[2]</sup>,从而影响生态系统服务价值。近年来国内外学者从不同角度不同层次对其进行了相关研究与分析<sup>[3-5]</sup>,也取得了较大进展。段瑞娟等<sup>[6]</sup>利用经济学模型对偿付意愿法进行修正,核算北京单位生态系统服务价值,并分析土地利用方式变

化与生态系统服务变化之间的相关性;熊鹰<sup>[7]</sup>应用 Costanza<sup>[8]</sup>提出的生态服务价值计算方法,并参照中国陆地生态系统单位服务价值系数,研究红壤丘陵区土地利用变化对生态系统服务功能的影响;黄凤等<sup>[9]</sup>估算新疆生态系统服务价值,构建生态系统服务价值与环境质量指数计算体系,并分析了新疆生态变化情况及其原因;韩鹏等<sup>[10]</sup>分别利用当量法、市场价值法和影子工程法计算生态系统服务功能,得到了各方法适用范围;谢高地等<sup>[11-12]</sup>通过对 700 位专家的问卷调查形成了一个独立的生态服务价值评价体系,对青藏高原生态系统服务价值进行评价;郑江坤等<sup>[13]</sup>利用土地利用数据对潮白河流域森林生态系统服务价值动态变化进行评估与预测;张蓉珍等<sup>[14]</sup>对西安市土地利用变化及其生态系统服务价值进行了研究。

本文在国内外相关研究的基础上,通过遥感技术分析徐州市鼓楼区、云龙区和泉山区 1995 年、2000 年、2004 年、2007 年和 2010 年土地利用状况,结合生态学和经济学知识,对该区生态服务价值进行定量评价,并进行驱动力分析。在此基础之上,运用时空马尔科夫链的时空遍历性预测其达到稳态时土地利用类型的分布概率,以期为徐州市土地资源利用状况和生态环境保护措施提供科学依据。

## 1 研究区概况

徐州市位于江苏省西北部,华北平原的东南部,东经 116°22′—118°40′、北纬 33°43′—34°58′,东西长约 210 km,南北宽约 140 km,总面积 11 258 km<sup>2</sup>,占江苏省总面积的 11%。徐州是典型的矿业城市<sup>[15]</sup>,江苏省重要的能源基地。近年来,徐州经济实力迅速增强,城市空间大幅拓展,大量农田、林地 in 城区扩建中消失。本文着重研究徐州市城区,包括城区北部的鼓楼区、西南部的泉山区和西北部的云龙区。

## 2 研究方法

### 2.1 数据处理

采用 1995 年、2000 年、2004 年、2007 年和 2010 年分辨率为 30 m 的徐州市 Thematic Mapper(TM)影像,对徐州市城区范围鼓楼区、泉山区、云龙区土地利用状况进行研究。利用 ENVI 软件中二次多项式纠正对其进行配准,将配准精度控制在 0.5 个像素以内。在此基础之上,利用最大似然分类法,将影像分为林地、农田、水域和建设用地四类土地利用类型。利用目视解译对分类结果进行评估,并进行精度检验,5 期土地利用图 Kappa 系数均达到为 0.83 以上。

### 2.2 生态系统服务价值评价

根据得到的研究区内土地利覆盖/利用类型,利用 Constanza 等<sup>[8]</sup>生态系统制定的服务价值估算原理和谢高地等<sup>[12]</sup>制定的我国生态系统服务价格当量因子表,进行不同时期生态系统服务价值评价。生态服务被划分为食物生产、原材料生产、气体调节、气候调节、水源涵养、土壤形成与保护、废物处理、生物多样性维持、休闲娱乐等,该表定义 1 hm<sup>2</sup> 全国农田平均粮食产量的经济价值为 1,其他生态系统服务价值以此为参考<sup>[11]</sup>。针对徐州具体情况,以该区 2009 年平均粮食产量 6 205.5 kg/hm<sup>2</sup> 为基准单产,粮食单价按 2008 年全国粮食平均收购价格 1.69 元/kg 作为研究时段平均价格。此外,确定 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量等于平均粮食单产市场价值的 1/7<sup>[12]</sup>,计算出徐州的生态系统服务价值当量因子为 1 498.19 元,以此为基础按当量因子测算出该区其他土地利用类型各项生态服务价值。该区生态系统服务价值系数如表 1 所示。

表 1 徐州不同土地利用/覆盖类型生态系统服务价值系数

生态系统 服务功能	生态系统服务价值/(元·hm <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )			
	农田	林地	建设用地	水体
食物生产	1498.19	494.40	0	794.04
原材料生产	584.29	4464.61	0	524.37
气体调节	1078.70	6472.18	0	764.08
气候调节	1453.24	6097.63	0	3086.27
水源涵养	1153.61	6127.60	0	28121.03
废物处理	2082.48	2576.89	0	22248.12
保持土壤	2202.34	6022.72	0	614.26
生物多样性保护	1528.15	6756.84	0	5138.79
娱乐文化	254.69	3116.24	0	6651.96
合计	11835.70	42129.10	0	67942.92

结合表 1 数据并根据公式(1),(2)计算鼓楼区、云龙区、泉山区各土地利用类型生态系统服务价值、各项生态服务价值。

$$ESV = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (A_i \times VC_{ij}) \quad (1)$$

$$ESV_j = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_{ij}) \quad (2)$$

式中:ESV——生态系统服务价值;ESV<sub>j</sub>——生态系统第 j 项服务价值;A<sub>i</sub>——研究区第 i 种土地利用/覆盖类型分布面积;VC<sub>ij</sub>——第 i 种土地利用类型第 j 类服务功能价值系数。

### 2.3 马尔科夫模型预测

经济建设与生态建设同步发展是我们共同的目标,城市经济的发展和生态文明建设必然能达到平衡的状态,对土地利用方式的规划也将达到最优化的稳定状态。目前对生态系统服务价值的研究多集中在生态服务价值对土地利用现状的响应方面<sup>[16]</sup>,缺少此方面的预测,尤其是达到稳态时土地利用类型的分布。

马尔科夫模型可以有效地预测土地利用变化情况,从而预测生态服务价值的变化<sup>[13]</sup>。较高空间阶的时空马尔科夫链也具有遍历性<sup>[17]</sup>,遍历态的马尔科夫链极限分布即是其平稳分布。土地利用类型转移矩阵每行元素进行归一化处理就相当于转移概率矩阵,本文采用时空马尔科夫模型,结合土地利用类型转移概率矩阵,考虑时间要素,求出土地利用类型的多时段加权转移概率矩阵  $M$ ,其计算公式如下

$$P=\begin{bmatrix} P_{11} & \cdots & P_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ P_{n1} & \cdots & P_{nn} \end{bmatrix} P_{ij}(0),$$
$$\sum_{j=1}^n P_{ij}=1; \quad i,j=1,2,\cdots,n \tag{3}$$

$$M=\sum_{l=1}^m T_l M_l / \sum_{l=1}^m T_l \tag{4}$$

式中: $P_{ij}$ ——从土地利用类型  $i$  到  $j$  的概率; $M$ ——初始状态的转移概率矩阵; $T_l$ ——第  $l$  个间隔时段内土地利用数据的间隔时间; $M_l$ ——第  $l$  个间隔时段内土地利用类型转移概率矩阵; $m$ ——总的时间间隔数。

遍历态马尔科夫链具有平稳分布特征,经过多次概率转移之后,土地利用类型进入固定状态,当继续增大概率转移次数时,不会再发生变化,即在一定精度上转移过程收敛于固定状态,与初始土地利用状态无关,只是收敛速度有所不同而已,故用来预测未来土地利用类型稳定分布,具体公式如下:

$$\begin{cases} (p_1+p_2,\cdots,p_k)=(p_1,p_2,\cdots,p_k)M \\ p_1+p_2+\cdots+p_k=1 \end{cases} \tag{5}$$

式中: $p_1,p_2,p_k$ ——稳定状态时各土地利用类型所占面积比例,即各土地利用类型所占比例经过转移矩阵  $M$  之后不会发生变化即是达到稳态,符合平稳分布的特征。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用结构动态变化

鼓楼区总面积 23 851 hm<sup>2</sup>,土地利用方式在 1995—2010 年的 15 a 发生很大变化。1995 年,农田分布面积最大,占到总面积的 53.5%,建设用地面积占到 24.86%,而林地和水体所占的面积则相对较小。1995—2000 年间,农田和建设用地面积增加,林地和水体面积则减小。2000—2004 年间,在人类活动的影响下,鼓楼区土地利用变化复杂而迅速。2004—2007 年间,面积变化较大的是建设用地和农田,农田面积减少了 1 874.88 hm<sup>2</sup>,建设用地面积增加了 2 361.78hm<sup>2</sup>。2007—2010 年间,由于区域经济发展迅速和新城区的规划建设,建设用地面积持续增加,占总面积的 52.57%(表 2)。

与 1995 年相比,2000 年、2004 年、2007 年、2010 年云龙区农田面积分别减少了 449.1,1 493.82,3 059.29,2 734.74 hm<sup>2</sup>;林地面积分别减少 75.8%,37.8%,77.0%,70.1%;水体面积分别增加 20.3%,8.1%,11.9%,21.9%;建设用地面积分别增加 69.4%,96.7%,198.2%,176.8%,变化较迅速。

在研究时间内,与鼓楼区和云龙区相比,泉山区土地利用方式变化相对较小。与 1995 年相比,2000 年、2004 年、2007 年和 2010 年林地面积分别减少了 28.5%,39.4%,50.1%,34.7%;水体面积不断增加,建设用地面积分别增加了 4.2%,25.7%,53.1%,42.4%;而农田在 2000 年增加了 0.5%,在 2004 年、2007 年和 2010 年分别减少了 13.8%,41.3%,34.4%。经比较,2004—2007 年,土地利用方式发生变化较大,尤其发生在林地和建设用地方面。

表 2 1995—2010 年徐州城区土地利用类型面积变化

区域	土地利用类型	1995 年		2000 年		2004 年		2007 年		2010 年	
		面积/	比例/	面积/	比例/	面积/	比例/	面积/	比例/	面积/	比例/
		hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%	hm <sup>2</sup>	%
鼓楼区	农田	12761.64	53.50	13747.68	57.64	10924.47	45.80	9049.59	37.94	8204.31	34.40
	林地	2859.48	11.99	670.23	2.81	1496.88	6.28	535.77	2.25	692.10	2.90
	水体	305.82	1.28	496.08	2.08	454.68	1.91	658.89	2.76	418.77	1.76
	建设用地	5929.47	24.86	6942.42	29.11	8980.47	37.65	11612.25	48.69	12538.35	52.57
云龙区	农田	8263.53	69.02	7814.43	65.26	6769.71	56.54	5205.24	43.47	5528.79	46.18
	林地	1366.29	11.41	329.94	2.76	849.42	7.09	314.19	2.62	400.77	3.35
	水体	289.08	2.41	347.67	2.90	312.39	2.61	323.46	2.70	352.35	2.94
	建设用地	2056.41	17.17	3483.27	29.09	4043.79	33.77	6132.42	51.22	5691.60	47.53
泉山区	农田	4007.07	40.04	4030.56	40.28	3454.02	34.52	2350.17	23.49	2628.54	26.27
	林地	1400.49	14.00	1001.61	10.01	849.33	8.49	699.39	6.99	914.49	9.14
	水体	649.08	6.49	858.51	8.58	737.01	7.37	908.10	9.07	835.02	8.34
	建设用地	3950.01	39.47	4115.97	41.13	4966.47	49.63	6049.17	60.45	5625.18	56.21

3.2 生态服务价值动态变化

生态系统服务价值与土地利用/覆盖类型的变化密切相关,土地覆盖类型的变化在不同程度上对生态系统服务价值产生影响。1995—2010 年间,土地利用方式发生很大变化,生态系统服务价值也表现出复杂的变化趋势,如表 3 所示。1995 年,鼓楼区生态服务价值为 2.92 亿元;到 2000 年,由于鼓楼区建筑用地面积的增加,生态服务价值下降到 2.25 亿元,并且随着社会的发展和城市规划的逐步加快,鼓楼区生态服务价值呈现出持续减少的趋势。1995—2000 年间,云龙区生态服务价值由 1.75 下降到 1.30 亿元,

2000—2004 年间,由于林地和水体面积的增加,导致生态服务价值快速增加,而在 2004—2010 年间,生态服务价值呈现出先减少后增加的趋势。相比较鼓楼区 and 云龙区,泉山区的生态服务价值变化较小,到 2004 年后相对稳定。

由表 3 可知,在城市快速发展过程中,大量农田和林地被占用,建设用地的需求不断增加,引起生态服务价值的降低。1995—2010 年间,城区道路的修建,新城区的规划和建设,工业的快速发展,都是引起生态服务价值降低的根本原因。

表 3 1995—2010 年徐州城区各土地利用类型生态服务价值变化

区域	土地利用方式	1995 年		2000 年		2004 年		2007 年		2010 年	
		ESV/ 亿元	比例/ %	ESV/ 亿元	比例/ %	ESV /亿元	比例/ %	ESV/ 亿元	比例/ %	ESV/ 亿元	比例/ %
鼓楼区	农田	1.51	51.68	1.63	72.43	1.29	57.92	1.07	61.40	0.97	62.76
	林地	1.20	41.22	0.28	12.57	0.63	28.25	0.23	12.94	0.29	18.85
	水体	0.21	7.11	0.34	15.00	0.31	13.84	0.45	25.66	0.28	18.39
	建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0.00	0
	合计	2.92	100	2.25	100	2.23	100	1.74	100	1.55	100
云龙区	农田	0.98	55.89	0.92	71.14	0.80	58.43	0.62	63.63	0.65	61.58
	林地	0.58	32.89	0.14	10.69	0.36	26.10	0.13	13.67	0.17	15.89
	水体	0.20	11.22	0.24	18.17	0.21	15.48	0.22	22.70	0.24	22.53
	建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	1.75	100	1.30	100	1.37	100	0.97	100	1.06	100
泉山区	农田	0.47	31.51	0.48	32.18	0.41	32.26	0.28	23.38	0.31	24.62
	林地	0.59	39.20	0.42	28.47	0.36	28.23	0.29	24.76	0.39	30.49
	水体	0.44	29.30	0.58	39.35	0.50	39.51	0.62	51.86	0.57	44.89
	建设用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	1.51	100	1.48	100	1.27	100	1.19	100	1.26	100

3.3 马尔科夫模型预测

运用马尔科夫过程预测徐州城区未来土地利用方式的稳定分布,并以此计算研究区域内生态服务价值,如表 4 所示。预测结果表明,达到稳定状态时,鼓楼区农田面积 14 403 hm<sup>2</sup>,占总面积的 60.39%,生

态服务价值 2.99 亿元,较 2010 年生态服务价值 1.55 亿元增长了 1.45 亿元;云龙区农田面积为 8 067.75 hm<sup>2</sup>,生态服务价值 1.64 亿元;泉山区建设用地 4 021.67 hm<sup>2</sup>,所占比重最大,达到 40.19%,生态服务价值 1.47 亿元,比 2010 年增加 0.27 亿元。

表 4 徐州城区各土地利用类型的稳定分布

土地利用类型	鼓楼区				云龙区				泉山区			
	面积/ hm <sup>2</sup>	比例/ %	ESV/ 亿元	比例/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	比例/ %	ESV/ 亿元	比例/ %	面积/ hm <sup>2</sup>	比例/ %	ESV/ 亿元	比例/ %
农田	14403.87	60.39	1.70	56.85	8067.75	67.38	0.95	58.23	3983.65	39.81	0.47	32.13
林地	2413.76	10.12	1.02	33.91	1311.10	10.95	0.55	33.68	1409.94	14.09	0.59	40.48
水域	407.86	1.71	0.28	9.24	195.17	1.63	0.13	8.09	591.39	5.91	0.40	27.38
建设用地	6628.31	27.79	0	0	2398.29	20.03	0	0	4021.67	40.19	0	0

4 结 论

(1) 1995—2010 年间,研究区域土地利用类型发生很大变化,主要受到城区规划和人类活动的影响,

使农田面积大量减少,建设用地面积显著增加。

(2) 在研究时段内,研究区域生态服务价值发生复杂的变化过程,主要呈现下降趋势。主要因为农田是生态服务价值构成中贡献较大的土地利用类型,新

城区的开发建设和城市化的快速发展造成农田大量减少,从而使生态服务总价值降低。

(3) 根据时空马尔科夫遍历态分布特性,预测达到稳定状态各土地利用类型所占比重,预测结果显示建设用地面积会逐渐减少,从而生态服务价值显著增加。但由于土地利用变化受到土地利用政策、自然灾害等的共同影响,导致土地利用的不确定性增加,且本文从生态的角度切入,对经济发展等相关因素未做任何考量,对未来土地利用类型的稳态预测较为理想化,对城市土地利用类型优化的研究仍需进一步完善。

参考文献:

[1] 杨朝晖,王浩,褚俊英,等.海河流域生态系统价值评估与空间特征[J].水利学报,2010,41(9):1121-1127.

[2] 吴大千,刘建,贺同利,等.基于土地利用变化的黄河三角洲生态服务价值损益分析[J].农业工程学报,2009,25(8):256-261.

[3] 彭文甫,周介铭,罗怀良,等.城市土地利用变化对生态系统服务价值损益估算:以成都市为例[J].水土保持研究,2011,18(4):44-51.

[4] Li H, Wang S, Ji G, et al. Changes in land use and ecosystem service values in Jinan, China[J]. Energy Procedia,2011(5):1109-1115.

[5] 申建秀,王秀红,刘羽,等.退耕还林前后甘肃正宁县生态系统服务价值的时空变化特征[J].水土保持研究,2012,19(4):59-64.

[6] 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,2006,28(5):21-28.

[7] 熊鹰.红壤丘陵区土地利用变化对生态系统服务功能的影响

影响:以长沙市为例[J].湖南大学学报:自然科学版,2009,36(10):63-67.

[8] Costanza R, d'Arge R, Groot de R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological economics,1998,25(1):3-15.

[9] 黄凤,吴世新,唐宏.基于遥感与GIS的新疆近18a来LUCC的生态环境效应分析[J].中国沙漠,2012,32(5):1486-1493.

[10] 韩鹏,司今,王应刚.生态服务价值计算方法对比分析:以黄土丘陵区纸坊沟流域为例[J].应用基础与工程科学学报,2009(17):102-112.

[11] 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,2003,18(2):189-196.

[12] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等.一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J].自然资源学报,2008,23(5):911-919.

[13] 郑江坤,余新晓,夏兵,等.潮白河流域林地转化及森林生态服务价值动态分析[J].农业工程学报,2010,26(1):308-314.

[14] 张蓉珍,魏志超,陈西蕊.西安市土地利用变化及其生态系统服务价值研究[J].水土保持研究,2013,20(3):254-256.

[15] 李保杰,顾和和,纪亚洲,等.基于RS和GIS的矿区土地利用变化对生态服务价值损益影响研究:以徐州市九里矿区为例[J].水土保持研究,2010,17(5):123-128.

[16] 熊鹰,曾光明,王克林.区域生态系统服务功能对土地利用变化的响应:以湖南省为例[J].湖南大学学报:自然科学版,2008,35(9):79-83.

[17] 王纪军,裴铁璠.气候变化对森林演替的影响[J].应用生态学报,2004,15(10):1722-1730.

(上接第 296 页)

[10] 郑粉莉,王占礼,杨勤科.土壤侵蚀学科发展战略[J].水土保持研究,2004,11(4):1-10.

[11] 张克存,屈建军,俎瑞平,等.不同结构的尼龙网和塑料网防沙效应研究[J].中国沙漠,2005,25(4):483-487.

[12] 董智,李红丽,左合君,等.土壤凝结剂沙障防沙机理的风洞模拟实验研究[J].干旱区资源与环境,2004,18

(3):154-159.

[13] 张克存,屈建军,俎瑞平.下垫面条件对风沙活动层气流紊动性影响的风洞模拟[J].水土保持通报,2004,24(3):1-4.

[14] 任余艳,胡春元,贺晓,等.毛乌素沙地巴图塔沙柳沙障对植被恢复作用的研究[J].水土保持研究,2007,14(4):14-18.