

# 土地利用及其生态服务价值演变的驱动力与预测研究 ——以江苏省为例

茆长宝<sup>1,2</sup>, 陈勇<sup>1</sup>

(1. 四川大学 环境与区域发展研究所, 成都 610064; 2. 四川大学 人口研究所, 成都 610064)

**摘要:** 利用江苏省 1999—2007 年土地及相关经济社会统计数据, 定量研究土地利用及其生态服务价值的演变状况, 并深入分析演变的驱动因素。在此基础上利用 GM(1,1) 模型进行相关的预测研究。结果表明: 江苏省 1999—2007 年园地、居民点及工矿用地、交通用地呈增加态势, 耕地、林地、水域、未用地出现下降趋势, 生态服务价值亦出现下降趋势。2010—2020 年各类型土地及其生态服务价值延续 1999—2007 年变动趋势, 且不断地扩大。在 1999—2020 年影响江苏省生态服务价值变化的主要因素逐渐由人口数量、农业现代化水平转变为人口质量、固定资产投资和城市化水平, 表明人口素质、固定资产投资、城市化日益成为影响江苏省生态环境的主要因素。

**关键词:** 土地利用; 生态服务价值; 驱动因素; 江苏

中图分类号: F301.24; X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)04-0269-07

## The Driving Force and Prediction of the Evolution of Land Use and Ecosystem Services Value — A case Study of Jiangsu Province

MAO Chang-bao<sup>1,2</sup>, CHEN Yong<sup>1</sup>

(1. Institute of environment and regional development, Sichuan University, Chengdu 610064, China; 2. Institute of Population Research, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** By using the statistical data of land and related socio-economic indicators of Jiangsu province from 1999 to 2007, this paper conducted a quantitative study on the evolution of land use and ecosystem services value, and then analyzed the driving factors. On this basis, a prediction is made by using the GM (1,1) model. The land of orchard, residential and industrial, traffic increased while ecosystem services value and the land of cultivated, forest, water decreased from 1999 to 2007. From 2010 to 2020, the various types of land and the ecosystem services value continued the same changing trend of 1999 to 2007, but showing an expanding in trend. In 1999 and 2020, the major factors that made the impact on the value of ecosystem services of Jiangsu province were gradually changing from the population, the level of agricultural modernization to the quality of the population, investment of fixed assets and the level of urbanization which indicated that the quality of the population, investment of fixed assets and the level of urbanization were increasingly becoming the main factors to impact the eco-environment in Jiangsu province.

**Key words:** land use; ecosystem services value; driving factors; Jiangsu province

资源是人类赖以生存与发展的物质基础, 土地是资源中的基础资源, 它不仅满足人类对居住空间需求, 也满足人类对食物的需求, 对人类的生存、发展具有十分重要的意义。工业革命爆发以来, 人口急剧增长, 污染日益加剧, 人口、资源、环境问题日益严峻, 尤

其是稀缺的土地资源, 不仅数量减少, 质量也在不断地下降, 供给与需求间的矛盾十分尖锐, 已威胁到人类自身的生存和发展。在这样的背景下, 国际地圈—生物圈计划(IGBP)和全球环境变化中的人文因素计划(IHDP)于 1995 年联合提出了 LUCC(土地利用/

土地覆盖变化)概念<sup>[1]</sup>,用以研究人类活动对土地演变的影响,并最终实现土地资源的可持续利用。这一课题因其巨大的现实意义而迅速成为全球关注焦点<sup>[2-7]</sup>。

土地不仅仅是人类生存、发展的基础,也是陆地生态系统的载体,土地利用变化引起各类生态系统面积及其空间分布格局的改变,进而影响整个生态系统功能与价值<sup>[8]</sup>。通过对生态系统价值变化的定量研究,则可从直观上反映人类对土地所施加的影响,以此为基础,调整人类的行为,可实现土地资源的可持续利用,但如何定量研究生态系统价值成为研究难题。Costanza 于 1997 年实现了对生态系统服务价值的定量描述<sup>[7]</sup>,为 LUCC 的深入研究奠定了基础,得到广泛应用<sup>[9-13]</sup>。Costanza 所确定的生态系统服务价值虽具有普遍的意义,但在具体区域的评价中,存在针对性不强的缺点。我国学者在 Costanza 研究的基础上,根据我国的具体条件,确定了适合我国区域生态服务价值的评价标准<sup>[14-15]</sup>,促进我国 LUCC 研究的深入开展。

在我国东部沿海地区,工业发达,人类活动对土地影响巨大,生态效应亦十分明显:一方面由于城市化进程的加快,使得可用土地数量日益减少;另一方面由于人口生活质量的提高,加大了对土地资源的索取,使得土地质量不断下降,加之工业污染严重,生态环境不断恶化。但目前从生态服务价值视角对东部地区土地利用状况及其生态服务演变研究较少。本文选取东部沿海地区具代表性的江苏省作为研究区域,对江苏省 1999—2007 年土地利用及其生态服务价值的演变过程进行研究,并利用 GM(1,1)模型对 2010—2020 年土地利用及其生态服务价值进行预测,研究其演变趋势,探讨这一发展过程的驱动因素,为发达地区生态环境改善、土地资源的科学规划与合理利用提供依据。

## 1 研究区概况

江苏省位于我国东部沿海中心,介于东经 116°18′—121°57′,北纬 30°45′—35°20′之间。东濒黄海,西连安徽,北接山东,东南与浙江和上海毗邻。全省地势平坦,平原面积占全省总面积的 69%,由苏南平原、江淮平原、黄淮平原和东部滨海平原组成。低山丘陵占 14%,由西南和北部低山丘陵组成。水域面积占 16.8%,主要由太湖、洪泽湖、淮河、京杭运河、长江水域构成。全省气候具有明显的季风特征,处于亚热带向暖温带过渡地带,以淮河—灌溉总渠一线为界,以南属亚热带湿润季风气候,以北属暖温带湿润

季风气候。全省气候温和,年平均气温为 13~16℃;雨量适中,年降水量 724~1 210 mm,四季分明。全省经济发达,2008 年 GDP 总量位列全国第三。全省人口众多,但国土面积狭小,仅有 10.26 万 km<sup>2</sup>,占全国总面积的 1.06%,人多地少,2007 年人口密度达到 743 人/hm<sup>2</sup>。

## 2 研究方法与数据来源

### 2.1 单一土地利用动态度(K)

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \quad (1)$$

式中:K——研究期内土地利用的动态度;U<sub>a</sub>——研究期初某一土地类型的数量;U<sub>b</sub>——研究期末某一土地类型的数量;T——研究的时间。

土地利用变化速度的动态指标能较好的描述土地利用过程的变化状况。本文选用单一土地利用动态度(K)指标,定量、直观的体现土地利用、变化状况。土地利用的变化速度既是土地利用、变化的结果体现,又是未来土地利用变化的基础。因而土地利用速度指标既能反映当前土地利用的现状,又能对未来土地利用作出预测。

### 2.2 生态系统服务价值评价方法<sup>[6]</sup>

#### 2.2.1 生态系统服务价值(ESV)

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i VC_i) \quad (2)$$

式中:ESV——生态系统服务总价值;A<sub>i</sub>——第 i 类土地分布面积;VC<sub>i</sub>——第 i 类土地生态系统服务价值当量。

#### 2.2.2 不同土地类型的生态服务价值贡献率

$$ESVC_i = ESV_i / ESV \quad (3)$$

式中:ESVC<sub>i</sub>——第 i 类土地生态服务价值贡献率;ESV<sub>i</sub>——第 i 类土地生态服务价值;ESV——各类土地生态系统服务总价值。

### 2.3 GM(1,1)灰色预测模型

灰色系统理论以“部分信息已知,部分信息未知”的“小样本”、“贫信息”不确定性系统为研究对象,通过对“部分”已知信息生成、开发,提取有价值的信息,实现对系统运行规律的正确认识和有效控制<sup>[16]</sup>。生态服务价值预测为一个典型的灰色评价过程,较适合采用灰色模型预测其变化过程,具体原理不再赘述。

### 2.4 数据来源

研究中选用农用地、建设用地、未用地 3 大类型土地。其中,农用地选用耕地、园地、林地 3 类;建设用地选用居民点及工矿用地、交通用地、水域 3 类;土地数据来源于中国统计年鉴(2000—2008 年)、江苏统计年鉴(2000—2008 年)、中国国土资源年鉴(2000—2008 年)。

3 结果与分析

3.1 土地利用现状

江苏省 1999 年和 2007 年土地利用及其结构变化见表 1。其中,耕地、林地、水域、未用地面积出现不同程度下降,未用地的单一变化率达到-19.2%,

降幅最大;园地、居民点及工矿用地、交通用地面积出现不同程度增加,交通用地的单一变化率达到67.1%增幅最大。这表明在 1999—2007 年间,随着江苏人口的增加、城市化进程加快以及交通运输的飞速发展,居民对住宅的需求以及交通基础设施建设侵占了大片土地,使得后备土地资源战略空间日益缩小。

表 1 江苏省 1999—2020 年土地利用结构及其单一变化率 hm<sup>2</sup>

	项 目	耕地	园地	林地	居民点即工矿用地	交通用地	水域	未用地	总面积
1999 年	面积/hm <sup>2</sup>	5033353	291088	314804	1349855	76203	209742	2312736	9587781
	比例/%	52.5	3	3.3	14.1	0.8	2.2	24.1	100
2007 年	面积/hm <sup>2</sup>	4763775	318310	323953	1581290	127339	193728	1868445	9176840
	比例/%	51.9	3.5	3.5	17.2	1.4	2.1	20.4	100
	单一变化率	-5.4	9.4	-4.7	17.1	67.1	-7.6	-19.2	—
2010 年	面积/hm <sup>2</sup>	4632784	329301	317608	1696297	156798	180877	1721671	9035335
	比例/%	51.3	3.6	3.5	18.8	1.7	2.0	19.1	100
2020 年	面积/hm <sup>2</sup>	4259526	382593	298514	2124311	291476	162036	1327498	8845953
	比例/%	48.2	4.3	3.4	24	3.3	1.8	15	100
	单一变化率	-8.1	16.2	-6.0	25.2	85.9	-10.4	-22.9	—

3.2 生态服务价值

3.2.1 土地生态服务功能价值当量 1997 年, Costanza 提出生态系统服务价值估算方法<sup>[7]</sup>。这一研究成果为全球生态系统价值评价提供方法支撑,但存在个别土地类型的价值偏高或偏低,同时在具体区域的评价中,存在针对性不强的缺点。我国生态学家依据

中国的具体条件<sup>[14]</sup>,在 Costanza 研究成果的基础上,确定了符合我国具体条件生态系统生态服务价值;谢高地通过对我国各省区农用地研究并提出修正系数,本文以此为依据,确定江苏省各类型土地的生态服务价值当量因子(见表 2)。

表 2 不同土地利用类型的生态服务功能价值当量 元/hm<sup>2</sup>

土地利用类型	气体 调解	气候 调解	水分 调解	侵蚀 控制	土壤 形成	废物 处理	生物 多样性	食物 生产	原料 生产	娱乐 文化	合计
耕地	769.8	1370.3	923.8	0.0	2247.9	2525.1	1093.1	1539.7	154.0	15.3	10638.9
园地	2202.0	2036.3	72.2	1386.4	2247.9	1256.5	28.9	621.0	1993.0	953.2	12797.3
林地	5388.8	4157.0	4926.8	1386.4	6004.6	2017.0	5019.2	154.0	4003.0	1970.7	35027.6
水域	0.0	407.0	18033.2	0	8.8	16086.6	2203.3	88.5	8.8	3840.2	40676.4
居民点及工矿用地	0.0	0.0	-6678.0	3480.0	0.0	-2174.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-5372.2
交通用地	0.0	0.0	0.0	3480.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3480.0
未利用土地	0.0	0.0	26.5	0	17.7	8.8	300.8	8.8	0.0	8.8	371.4

3.2.2 江苏省 1999—2007 年生态服务价值及其评价 利用公式(3)对江苏省生态服务价值进行计算,结果见表 3。

(1)生态系统服务总价值呈现下降趋势。江苏省 1999 年生态服务总价值为 716 亿元,逐年下降,到 2007 年已降至 666.2 亿元,减少 49.8 亿元,降幅达 7%。其中耕地贡献度最大,其生态服务价值在 1999—2007 年间减少 28.7 亿元,占下降总量的 57.6%;居民点及工矿用地的生态服务价值在 1999—2007 年间减少了 12.4 亿元,占下降总量的 24.9%。虽然园地、交通用地的生态服务价值略有上升,但没能改变生态服务总价值的变动趋势。

态服务总价值比重呈上升趋势。由表 3 可知,在 1999—2007 年耕地、林地生态服务价值分别下降 28.7 亿元和 5.6 亿元,下降幅度为 5.4%、4.7%,但其对生态服务总价值的贡献率由 74.8%、16.6% 分别上升到 76.1%、17%。一方面是由于耕地被侵占、林地被砍伐,绝对数量减少,导致耕地、林地生态系统服务价值下降;另一方面则是由于居民点及工矿用地的扩张以及未用土地被大量使用,大幅降低了生态系统服务总价值,其降幅高于耕地、林地的生态系统服务价值,使得耕地、林地生态服务价值虽有下降,但占生态系统服务总价值的比重不断上升。

(3)园地、交通用地生态服务价值呈上升趋势。由表 1 知,江苏省园地、交通用地单一变化率分别上

(2)耕地、林地生态服务价值呈下降趋势,而占生

升了 9.4 和 67.1 个百分点,交通用地的单一变化率在所有土地类型中最高,但由于其生态服务价值年均仅为 3 480 元,使得交通用地的生态服务价值仅增加 1.7 亿元。虽然园地、交通用地生态服务价值呈上升趋势,但上升绝对值小,没能改变生态服务总价值的下降趋势。

表 3 江苏省 1999—2020 年生态服务价值 亿元

年份	耕地	园地	林地	水域	居民点及工矿用地	交通用地	未利用土地	总价值
1999	535.5	37.3	119.1	85.3	−72.5	2.7	8.6	716
2000	533.7	38	118.4	84.4	−73	2.9	8.4	712.8
2001	532.2	37.5	117.7	83.5	−74.3	3.1	8.2	707.9
2002	524.9	36.7	116.9	84.2	−75.8	3.3	7.8	698
2003	521.5	37.8	116.2	80.5	−77.6	3.5	7.8	689.7
2004	512.5	40.2	115.5	79.6	−80.6	3.9	7.7	678.8
2005	510.8	40.7	114.8	79.5	−81.8	3.9	7.7	675.6
2006	507.3	40.8	113.9	79	−83.2	4.4	6.9	669.1
2007	506.8	40.7	113.5	78.8	−84.9	4.4	6.9	666.2
2010	492.9	42.1	111.3	73.6	−91.1	5.5	6.4	640.7
2011	488.8	42.8	110.6	72.8	−93.2	5.8	6.2	633.8
2012	484.7	43.4	109.9	72	−95.3	6.2	6.1	627.0
2013	480.6	44.1	109.2	71.2	−97.5	6.6	5.9	620.1
2014	476.6	44.7	108.5	70.4	−99.7	7.0	5.8	613.3
2015	472.6	45.4	107.9	69.6	−102.0	7.4	5.6	606.5
2016	468.7	46.1	107.2	68.9	−104.3	7.9	5.5	600.0
2017	464.7	46.8	106.5	68.1	−106.7	8.4	5.3	593.1
2018	460.8	47.5	105.9	67.4	−109.1	9.0	5.2	586.7
2019	457	48.2	105.2	66.6	−111.6	9.5	5.1	580
2020	453.2	40.7	104.6	65.9	−114.1	10.1	4.9	565.3

3.3 驱动力分析

3.3.1 生态服务价值变动的影响因素 在前人研究成果<sup>[17-19]</sup>基础上,以生态服务价值为因变量,选取人口、经济发展、生活状况、农村生产条件以及城市化 5 大因素为生态服务价值变动的自变量。其中人口因素包含人口数量(总人口  $X_1$ 、非农人口  $X_2$ 、农业人口  $X_3$ 、人口密度  $X_4$ )、人口质量(人口平均受教育年限  $X_5$ 、人口文盲率  $X_6$ )和人口结构(抚养比  $X_7$ )三个方面;经济发展(固定资产投资  $X_8$ 、国内生产总值  $X_9$ 、第一产业值  $X_{10}$ 、第二产业值  $X_{11}$ 、第三产业值  $X_{12}$ 、人均  $GDPX_{13}$ );居民生活状况(城镇居民人均可支配收入  $X_{14}$ 、农村居民人均纯收入  $X_{15}$ 、城市人均建筑面积  $X_{16}$ 、农村人均建筑面积  $X_{17}$ 、人均粮食产量  $X_{18}$ );农现代化(农业机械动力  $X_{19}$ 、农村用电量  $X_{20}$ 、农村化肥使用量  $X_{21}$ );城市化(城市化率  $X_{22}$ )。

3.3.2 指标数据标准化 由于指标单位不同,指标间存在量纲影响,需对指标数据进行无量纲化处理,以消除指标间量纲的影响。处理公式如公式(4)。
$$X_{ij}=[x_{ij}-\min(x_{ij})]/[\max(x_{ij})-\min(x_{ij})] \quad (4)$$
式中: $X_{ij}$ ——无量纲数据; $x_{ij}$ ——第  $i$  个指标  $j$  年数据; $\max(x_{ij})$ ——第  $i$  个指标的最大值; $\min(x_{ij})$ ——第  $i$  个指标的最小值。

3.3.3 生态服务价值变化驱动因素的主成分分析

本文利用 SPSS16.0 对 22 组变量进行主成分分析,同时依据特征值来选定主成分。当特征值大于 1 时,表明主成分能够充分表达原始指标数据的相关信息。以此为依据,选择生态服务价值与驱动因素的主成分,其结果见下表 4。

由表 4 可知,1999—2007 年第一主成分的特征值分别为 21.173,其贡献率为 92.057%,即第一主成分解释了总变异的 92.057%;第二主成分特征值为 1.25,其解释了总变异的 5.434%。第一、第二主成分累积贡献率达到 97.49%,提供充分表达 23 组变量的信息,满足本文分析的需要。

由表 5 可知,第一主成分与总人口  $X_1$ 、人口密度  $X_4$ 、固定资产投资  $X_8$ 、国内生产总值  $X_9$ 、第一产业值  $X_{10}$ 、第二产业值  $X_{11}$ 、第三产业值  $X_{12}$ 、人均  $GDPX_{13}$ 、城镇居民人均可支配收入  $X_{14}$ 、农村居民人均纯收入  $X_{15}$ 、城市人均建筑面积  $X_{16}$ 、农村人均建筑面积  $X_{17}$ 、农业机械动力  $X_{19}$  呈高度正相关关系;而与人口文盲率  $X_6$ 、抚养比  $X_7$  呈较高的负相关关系。第二主成分与人均粮食产量  $X_{18}$  有较高的相关性。1999—2007 年间,影响江苏省生态服务价值的因素主要有 人口数量、经济发展、居民生活以及农业现代化水平。

表 4 特征值及主成分贡献率

主成分	1999—2007 年			2010—2020 年		
	特征值	贡献率/%	累积贡献率%	特征值	贡献率%	累积贡献率/%
1	21.173	92.057	92.057	22.723	98.797	98.797
2	1.250	5.434	97.490	0.275	1.198	99.995
3	0.260	1.132	98.622	0.001	0.005	100.000
4	0.164	0.713	99.335	0.000	0.000	100.000
5	0.083	0.362	99.698	0.000	0.000	100.000
6	0.054	0.236	99.933	0.000	0.000	100.000
7	0.011	0.047	99.980	0.000	0.000	100.000
8	0.005	0.020	100.000	0.000	0.000	100.000
9	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000	100.000
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
22	0.000	0.000	100.000	0.000	0.000	100.000

注:表中主成分 10~21 的特征值、贡献率、累积贡献率都为 0,表中将其省略。

表 5 主成分载荷矩阵

主成分	1999—2007 年		2010—2020 年	主成分	1999—2007 年		2010—2020 年
	第一主成分	第二主成分	第一主成分		第一主成分	第二主成分	第一主成分
$X_1$	0.977	-0.151	0.997	$X_{12}$	0.995	0.08	0.989
$X_2$	0.945	-0.316	0.999	$X_{13}$	0.996	0.057	0.991
$X_3$	-0.925	0.368	-0.992	$X_{14}$	0.996	0.049	0.996
$X_4$	0.978	-0.154	0.997	$X_{15}$	0.996	0.067	0.999
$X_5$	0.971	0.177	0.997	$X_{16}$	0.996	0.024	0.999
$X_6$	-0.942	0.317	-0.981	$X_{17}$	0.994	0.066	0.999
$X_7$	-0.978	0.08	-0.991	$X_{18}$	0.637	0.731	-0.996
$X_8$	0.992	0.051	0.982	$X_{19}$	0.984	-0.074	0.998
$X_9$	0.996	0.059	0.99	$X_{20}$	0.994	0.034	0.985
$X_{10}$	0.983	0.126	0.999	$X_{21}$	0.873	0.17	0.996
$X_{11}$	0.996	0.042	0.989	$X_{22}$	0.931	-0.353	0.999

3.3.4 生态服务价值与驱动因素的回归模型 多重线性回归分析是反映多个变量间线性依存于相关的统计方法。回归分析不仅能较好体现生态服务价值与其驱动因素间的相互关系,并能确定驱动因素中的主要影响因素。将生态服务价值与各驱动因素数据进行逐步回归分析,得到如下的回归模型:

$$Y=-0.31+1.201X_7+0.437X_{21}$$

$(R^2=0.849,p=0.003<0.01)$ 

(5)

由公式(5)可知,在 1999—2007 年江苏省生态服务价值很大程度上受人口和农业现代化水平的影响。

3.4 土地利用及其生态服务价值预测与评价

3.4.1 土地利用预测 以 1999—2007 年江苏省土地利用数据为基础,利用 GM(1,1)预测模型,预测江苏省 2010—2020 年土地利用情况,以此作为江苏省 2010—2020 年生态服务价值评价的基础。预测模型见表 6,预测结果见表 1。

由表 6 知,不同类型土地预测模型精确度较高。

其中,园地预测模型平均误差值最大为 1.6%,林地预测模型平均误差最小,仅为 0.04%,所有预测模型检验结果都为“优”,这表明预测模型可信度高。

由表 1 可知,耕地、林地、水域、未用地面积出现不同程度下降,未用地的单一变化率达到 -22.9%;园地、居民点及工矿用地、交通用地面积出现不同程度增加,交通用地的单一变化率达到 85.9%。这表明在 2010—2020 年随着江苏人口的进一步增加,城市化进程加快以及交通行业的飞速发展,居民住宅、交通用地侵占土地强度加大。

其中,耕地单一变化率为 -8.1%,与 1999 年相比,面积缩减了 15.37%,仅为土地总面积的 48.2%,缩减的面积最大;交通用地面积单一变化率为 85.9%,为单一变化率最大的土地类型,与 1999 年相比,交通用地增加了 282.5%;居民点及工矿用地单一变化率为 25.2%,与 1999 年相比,其面积增长近 60%;园地面积的增长速度加快。

表 6 不同类型土地的预测模型

土地类型	灰色预测模型 $Y(t)$	模型检验	平均误差值/%
耕地	$Y = -602373972e^{-0.0084(t-1)} + 607407362.3 (t=1, 2, \dots, n)$	优	0.28
园地	$Y = 18754092.05e^{0.015(t-1)} - 18463004.29 (t=1, 2, \dots, n)$	优	1.6
林地	$Y = -54672811.67e^{-0.0084(t-1)} + 607407362.3 (t=1, 2, \dots, n)$	优	0.04
水域	$Y = -18456495.41e^{-0.011(t-1)} + 18666237.23 (t=1, 2, \dots, n)$	优	0.69
居民点及工矿用地	$Y = 59526183.92e^{0.0225(t-1)} - 58176328.81 (t=1, 2, \dots, n)$	优	0.38
交通用地	$Y = 1318723.18e^{0.062(t-1)} - 1242520.29 (t=1, 2, \dots, n)$	优	1.46
未用地	$Y = -87001556e^{-0.026(t-1)} + 89314291.95 (t=1, 2, \dots, n)$	优	1.35

表中:Y——各种土地类型的灰色预测值;e——常量,其值为 2.71728;t——各类土地变动的预测时间。

3.4.2 生态服务价值预测 依据表 6 对江苏省 2010—2020 年土地利用进行预测,计算江苏省 2010—2020 年间生态服务价值,结果见表 4。

由表 4 可知,江苏省生态服务价值由 2010 年的 640.7 亿元下降到 2020 年的 565.3 亿元,降幅达 11.77%;与 1999 年相比,生态服务总价值下降 150.7 亿元,约为 2020 年生态服务总价值的 30%;1999—2020 年江苏省生态服务总价值年均下降 1.78 亿元,降幅大。

2010—2020 年耕地的生态服务价值量下降最大,达到 39.7 亿元,占土地生态服务价值下降量的 52.65%。虽然耕地的生态服务价值在不断减少,但其在生态服务总价值中的比重在不断上升,由 2010 年 76.9%上升到 2020 年的 80.2%;林地、水域、居民点及工矿用地以及未用地生态服务价值出现下降,居民点及工矿用地的下降 25.24%,高于耕地的降幅,但由于其面积和生态服务价值相对耕地都要小的多,所以对土地生态服务总价值的影响比耕地小;交通用地的生态服务价值虽略有上升,但由于其生态服务价值当量小,较之其侵占的土地而言,其对生态服务总价值表现为负影响。

3.4.3 江苏省 2010—2020 年生态服务价值变化驱动因素的主成分分析 以江苏省 1999—2007 年驱动因素数据为基础,利用 GM(1,1)灰色预测模型,预测江苏省 2010—2020 年驱动因素的数据。利用 SPSS16.0 进行主成分分析,其结果见表 4。

由表 4 可知,2010—2020 年第一主成分的特征值分别为 22.723,其贡献率为 98.797%,即第一主成分解释了总变异的 98.797%,提供充分表达 23 组变量的信息,满足分析的需要。

由表 5 可知,第一主成分非农人口  $X_2$ 、第一产业值  $X_{10}$ 、农村居民人均纯收入  $X_{15}$ 、城市人均建筑面积  $X_{16}$ 、农村人均建筑面积  $X_{17}$ 、农业机械动力  $X_{19}$ 、城市化率  $X_{22}$ 、人均公共绿地面积  $X_{23}$  有较高的正相关关系。2010—2020 年影响江苏省生态服务价值的因素主要有非农人口、第一产业、居民生活以及农业现代

化水平以及城市化水平。

3.4.4 多元线性回归模型建立 利用江苏省 2010—2020 年生态服务价值与驱动因素数据进行逐步回归分析,得到如下的回归模型:

$$Y = -0.254 + 1.264X_6 - 0.898X_8 + 1.17X_{22}$$

$(R^2 = 0.998, p < 0.01)$ (6)

由公式(6)可知,2010—2020 年江苏省生态服务价值很大程度上受人口质量、固定资产投资以及城市化的影响。

可见,1999—2020 年引起江苏省生态服务价值变化的主要因素逐渐由人口数量、农业现代化水平转变为人口质量、固定资产投资和城市化水平。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)通过将土地利用的变化与生态服务价值相联系,用生态服务价值的变动来反映人类活动对生态系统所施加的影响并对造成的结果有直观上的认识;将人类活动、土地利用变动和生态系统的价值有机的结合,给快速城市化地区 LUCC 的研究提供新的思路。

(2)研究显示:1999—2007 年江苏省耕地、林地、水域、未用地面积出现不同程度下降,园地、居民点及工矿用地、交通用地面积出现不同程度增加,其中交通用地面积单一变化率最高,达到 67.1%;生态服务总价值下降了 7%,其中,耕地贡献最大,耕地的减少带来 28.7 亿元的生态服务价值流失,占减少生态服务总价值的 57.6%。预测结果显示,2010—2020 年各类型土地延续 1999—2007 年间变化趋势,且单一变化率有扩大趋势;生态服务价值下降 95.4 亿元,年均下降 9.54 亿元,高出 1999—2007 年年均降幅 3.32 亿元,且有进一步扩大的趋势。2020 年江苏省生态服务价值较 1999 年下降 150.7 亿元,占到 2020 年全省生态服务价值的 26.7%,说明在 1999—2020 年间,江苏省生态价值下降近 1/3。

(3)预测结果显示:1999—2020 年引起江苏省生态服务价值变动的主要因素逐渐由人口数量、农业现

代化水平转变为人口质量、固定资产投资和城市化率。表明随着江苏经济发展,人口素质、固定资产投资以及城市化进程日益成为影响江苏生态环境的主要因素。

## 4.2 政策建议

4.2.1 控制人口数量,提高人口素质 江苏省人多地少,2007年人口密度达到743人/km<sup>2</sup>,人口绝对数量增长对住宅需求及其生活质量的提高加快对自然索取的动力给土地保护带来巨大的压力。要不断地控制人口,以减少人口增长对土地带来的直接压力;同时要不断提升人口素质,以提高人口对土地的利用率和利用水平,增强生态系统的服务能力,保护生态环境。

4.2.2 加强对现有耕地保护,提升生态服务价值 从研究结果看,耕地面积的减少是造成江苏省整个生态服务价值大幅下降的主要原因。在1999—2020耕地减少导致生态服务价值减少值,占整个生态服务价值减少值的50%以上,所以,耕地保护对于江苏省生态服务价值提升有重要意义。因而要完善相关的耕地保护法律法规,保护现有耕地数量,更要按自然规律合理利用现有耕地,提高耕地利用效率。

4.2.3 加大对林地的保护力度,提高林地覆盖面积 森林系统对于整个生态系统具有巨大的、不可替代的作用,林地生态服务价值在所有类型土地中最大。江苏省林地面积积极小,虽有植树造林,但每年砍伐数量很大,林地覆盖面积上升速度十分缓慢,没有充分发挥林地巨大的生态服务价值的功能。要加大植树造林力度,提高林地覆盖面积,发挥森林巨大的生态功能。

4.2.4 加大对城市扩展的控制与规划,减少城市化的生态负效应 城市化将侵占大量土地、耕地、林地,给整个生态系统造成巨大影响。随着江苏经济发展,城市化进程加快,对生态负效应已日渐显现,预测研究显示,城市化成为影响江苏生态服务价值的主要因素。在城市化进程中,要加强对城市扩展控制与规划,合理利用土地,植树造林,将城市化带来的失态负效应降到最低。

## 参考文献:

[1] Turner II B L, Meyer W B, Skole D L. Global land-use/land-cover change: Towards an integrated study [J]. Am-

- bio, 1994, 23 (1): 91-95.
- [2] Foley J A, DeFries R, Asner G P et al. Global consequences of land use[J]. Science, 2005, 309: 570-574.
- [3] Pielke Sr R A. Land use and climate change[J]. Science, 2005, 310: 1625-1626.
- [4] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate[J]. Nature, 2003, 423: 528-531.
- [5] 万利, 陈佑启, 谭婧, 等. 土地利用变化对区域生态系统服务价值的影响: 以北京市为例[J]. 地域研究与开发, 2009, 28(4): 94-99.
- [6] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏. 土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J]. 地理科学, 2009, 64(4): 456-468.
- [7] Costanza R, Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(15): 253-259.
- [8] Lambin E F, Baulies X, Bockstael N, et al. Land-use and land cover change, implementation strategy [R]. IGBP Report No. 35/HDP Report No. 10. Stockholm: IGBP, 1999.
- [9] 张正峰. 土地整理中的生态服务价值损益估算[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 69-72.
- [10] 花利忠, 崔胜辉, 李新虎, 等. 汶川大地震滑坡体遥感识别及生态服务价值损失评估[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 5909-5916.
- [11] 姚成胜, 朱鹤健, 刘耀彬. 土地利用变化的社会经济驱动因子对福建生态系统服务价值的影响[J]. 自然资源学报, 2009, 24(2): 225-233.
- [12] 于开芹, 冯永军, 郑九华. 城乡交错带土地利用变化及其生态效应[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 213-218.
- [13] 谢春花, 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]. 长江流域资源与环境, 2006, 15(2): 191-195.
- [14] 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): 189-195.
- [15] 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.
- [16] 茆长宝, 程琳. 两种人口预测模型的精确度比较[J]. 南京人口管理干部学院学报, 2009, 25(1): 29-32.
- [17] 汪涌, 蔡运龙, 蒙古军. 中国耕地流转驱动力研究综述[J]. 资源科学, 2007, 29(3): 177-182.
- [18] 邵晓梅, 杨勤业, 张洪业. 山东省耕地变化趋势及驱动力研究[J]. 地理研究, 2001, 20(3): 298-307.
- [19] 夏淑芳, 许红卫, 王珂, 等. 浙江省耕地数量演变及其驱动力研究[J]. 科技通报, 2006, 22(3): 345-352.