# 长江三角洲生态系统服务价值分析及趋势预测

吴爱林，陈 燕，燕彩霞，罗 婵，宋新山
（东华大学 环境学院，上海 201620）

**摘 要**：[目的] 对长江三角洲生态系统服务价值进行分析及趋势预测，以期为该区未来城市发展以及制定生态环境建设补偿政策提供支持。[结果] 以长江三角洲 16 个地市 2000—2014 年的土地利用数据和相关统计资料为数据源，采用 Costanza 生态系统服务价值计算方法，参照修正后的生态系统单位面积生态服务价值系数，结合敏感性分析，探讨生态系统服务价值的时空演化规律，并利用马尔科夫模型对其未来 3 a 的发展趋势进行了预测分析。[结果] 区域生态系统总服务价值从 2000 年的 1 303.89 亿元减少到 2014 年的 1 294.25 亿元，变化率为－0.74%，水源涵养、废物处理和娱乐文化生态系统服务功能价值上升；在空间上，常州、南京、宁波、泰州、台州、扬州的生态系统服务价值不断增加，而其他城市的则处于下降趋势；对长江三角洲 2015 和 2017 年的土地利用构成和生态系统服务价值进行预测，呈现耕地、林地持续减少，建设用地持续增加的趋势，生态系统总服务价值将减少 276.65 亿元。[结论] 在未来土地调整中应更多地考虑到生态服务价值的重要意义，格外注意对耕地、水域的保护，控制建设用地占用耕地和林地，继续加大植树造林力度，提高土地利用集约度，维持生态系统的功能。

**关键词**：长江三角洲；土地利用；生态系统服务价值；敏感性分析；马尔科夫模型
**文献标识码**：A **文章编号**：1000-288X(2017)04-0254-06 **中图分类号**：F301.24，Q149

**文献参数**：吴爱林，陈燕，燕彩霞，等. 长江三角洲生态系统服务价值分析及趋势预测[J]. 水土保持通报，2017，37(4)：254-259. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.043；Wu Ailin，Chen Yan，Yancai Xia，et al. Ecosystem service value analysis and trend prediction in Yangtze River delta[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2017，37(4)：254-259. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2017.04.043

# Ecosystem Service Value Analysis and Trend Prediction in Yangtze River Delta

WU Ailin，CHEN Yan，Yancai Xia，LUO Chan，SONG Xinshan
（*College of Environment*，*Donghua University*，*Shanghai* 201620，*China*）

**Abstract**：[Objective] This paper examined the spatio-temporal variations in the value of ecosystem services and then predicted it to provide support for formulating compensation policy in ecological environment construction and future urban development. [Methods] Based on land use data and relevant statistical data in the Yangtze River delta from 2000 to 2014，with the method proposed by Costanza wherein the values of ecosystem services are calculated with regard to the value coefficients of ecosystem services per unit area in the Chinese terrestrial ecosystem and the sensitivity analysis，this paper examined the spatio-temporal variations in the value of ecosystem services and then predicted it by Markov model. [Results] The total value of ecosystem services decreased from 130 389 million yuan in 2000 to 129 425 million yuan，reduced by 0.74%. In addition，the ecosystem service value of water supply，recreation and culture function and waste treatment increased while other ecosystem functions declined. From the perspective of spatial analysis，the ecosystem service values of Changzhou，Nanjing，Ninbo，Taizhou，Taizhou，Yangzhou City increased，while values of other cities decreased. The land use structures of the Yangtze River delta in 2015 and 2017 were predicted

**收稿日期**：2016-10-15 **修回日期**：2016-12-22
**资助项目**：国家自然科学基金项目“长江三角洲区域生态安全时空演变及调控图谱研究”(41471089)；中央高校基本科研业务费项目
**第一作者**：吴爱林(1990—)，女(汉族)，江西省玉山县人，硕士研究生，研究方向为长江三角洲的土地生态敏感性评价。E-mail：270134083@qq.com。
**通讯作者**：陈燕(1983—)，女(汉族)，上海市人，博士，副教授，主要从事生态安全、纳米技术(材料)在水处理中的应用以及环境遥感与环境信息系统。E-mail：chenyanhjxy@dhu.edu.cn。

using the Markov model. The trends of woodland and cultivated land will maintain a continual increase while the construction land will be in a continual decrease in the coming three years. The total ecosystem services value will have a decrement of 276.65 million yuan. [Conclusion] Therefore, the importance of ecological service value should be given more consideration in future land adjustment, especially for the protection of cultivated land and water and improvement of land utilization intensity. it is very important to control the occupancies of cultivated and forest land by construction, to continually increase the effort of afforestation and maintain the function of ecosystem.

**Keywords: Yangtze River Delta; land use; ecosystem service value; sensitivity analysis; Markov model**

生态系统服务功能,是生态系统、生态过程形成的自然环境条件及其效用[1],是维持人类生存的根本。近几年,生态服务价值已经成为可持续发展研究的热点,普遍研究者已将生态服务价值作为评价生态环境变化的主要指标之一[2-3],生态系统服务价值(ecosystem service value, ESV)的定量评估已成为生态经济学和环境经济学的研究重点[4-5]。对生态系统服务价值及其变化进行评估,不仅反映了人类对自然资源周期性利用情况,更重要是突出在经济发展过程中人类对生态系统平衡的重要性的认知[6]。生态系统服务价值是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接提供的生命支持产品(如原材料和食物等)和服务(如栖息地提供等),包括人类生活所必需的生态产品和保证人类生活质量的生态功能两部分[7]。国内外学者已经分别从全球、国家、区域等不同尺度以及单个生态系统服务价值的评估进行了研究,其中 Costanza 等发表的"全球生态系统服价值和自然资本"对之后的相关研究产生了深远的影响,使生态系统服务价值评估的原理与方法从科学意义上得以明确。本文基于 ENVI 软件平台,采用转移矩阵、Costanza 等[1]提出的生态系统服务价值计算公式和马尔科夫预测方法,结合敏感度分析,探讨了 2000—2014 年 15 a 间不同空间尺度上的生态系统服务价值变化,并对 2015—2025 年的生态系统服务价值进行预测,以期为长江三角洲未来城市发展以及制定生态环境建设补偿政策提供支持。

## 1　研究区概况

长江三角洲地区包括杭州、苏州、台州、绍兴、宁波、上海、南通、扬州、湖州、南京、无锡、泰州、常州、镇江、嘉兴和舟山两省一市共 16 个城市。是中国综合实力最强的经济中心。截至 2014 年末,长江三角洲国内生产总值是 2000 年的 6.62 倍,达到了 128 802.8 亿元,占全国的 20.25%。经济的快速发展,城镇化的快速推进,城市用地类型及空间结构也随之发生变化。研究期间,耕地、林地、草地面积减少,其余类型面积呈增加趋势。其中,耕地的变化幅度最大,面积减少了 8 129.45 $km^2$,其次为城镇用地,城镇用地净增加了 5 162.18 $km^2$,从而严重影响了区域内的生态系统服务价值。

## 2　研究方法与数据来源

### 2.1　研究方法

2.1.1　*生态系统服务价值评价方法*　本研究以谢高地等[8]提出的"中国生态系统单位面积生态服务价值当量"为基础,结合长三角的实际情况进行修订,根据长三角 2000—2014 年统计年鉴的相关数据,计算得到长三角 2000—2014 年的平均粮食产量为 2 087.42 $kg/hm^2$,2014 年间的平均粮食价格为 2.604 6 元/kg,参考谢高地[8]关于单位生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年全国平均粮食产量市场价值的 1/7 的方法,计算出长三角一个当量因子的经济价值约为 776.82 元/$hm^2$。由此计算出长三角不同生态系统单位面积生态服务价值(表 1)。结合相关土地利用类型面积,根据表 1 对长三角生态系统服务价值进行评估。其中耕地和农田对应,林地和森林对应,未利用土地和荒漠对应,城镇用地、农村居民点和其他建设用地赋值为零。

$$ESV=\sum_{i}^{5}(A_i \cdot VC_i) \tag{1}$$

$$ESV_f=\sum_{i}^{5}(V_i \cdot VC_{fi}) \tag{2}$$

式中:ESV, $ESV_f$——生态系统服务价值和第 $f$ 项服务价值; $A_i$——土地利用类型 $i$ 的面积; $VC_{fi}$——单位面积土地利用类型 $i$ 的第 $f$ 项服务功能价值系数; $VC_i$——生态系统价值系数。

2.1.2　*敏感性分析方法*　生态系统价值敏感性指数(coefficient of sensitivity, CS)是为了验证生态系统类型对于土地利用类型的代表性以及生态价值系数的准确性而引入的[9-10]。该指数主要是用来确定 ESV 对 VC 的依赖程度,当 CS<1,表明 ESV 对于

VC是缺乏弹性的，当CS>1，表明ESV对于VC是富有弹性的。CS越大，表明VC的准确性越关键。本文通过对各土地利用类型的VC进行上下调整50%来说明ESV的变化情况。其计算公式为：

$$CS=\left|\frac{(ESV_a-ESV_b)/ESV_b}{(VC_{ai}-VC_{bi})/VC_{bi}}\right| \quad (3)$$

式中：$b$，$a$——初始价值和生态价值系数调整后的价值。

**表1 长江三角洲地区生态系统单位面积生态服务价值**

| 单项服务功能 | 土地利用类型/(元·hm$^{-2}$·a$^{-1}$) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 未利用土地 |
| 气体调节 | 388.41 | 2 718.87 | 621.46 | 0 | 0 |
| 气候调节 | 691.37 | 2 097.41 | 699.14 | 357.34 | 0 |
| 水源涵养 | 466.09 | 2 485.82 | 621.46 | 15 831.59 | 23.30 |
| 土壤形成与保护 | 1 134.16 | 3 029.60 | 1 514.80 | 7.77 | 15.54 |
| 废物处理 | 1 273.98 | 1 017.63 | 1 017.63 | 14 122.59 | 7.77 |
| 生物多样性保护 | 551.54 | 2 532.43 | 846.73 | 1 934.28 | 264.12 |
| 食物生产 | 776.82 | 77.68 | 233.05 | 77.68 | 7.77 |
| 原材料 | 77.68 | 2 019.73 | 38.84 | 7.768 | 0 |
| 娱乐文化 | 7.77 | 994.33 | 31.07 | 3 371.40 | 7.77 |
| 合计 | 5 367.83 | 16 973.52 | 5 624.18 | 35 710.42 | 326.26 |

2.1.3 *马尔科夫预测方法* 马尔科夫预测过程是一种具有“无后效应”的特殊随机过程[11]，它表示随机过程$X(t)$时刻$(n+(1)$的状态概率分布只与时刻$n$的状态概率分布有关，而与时刻$n$之前的状态概率分布无关[12]。可用转移概率矩阵$P$和初始分布$S(0)$并利用如下公式对土地利用状态进行预测[13-16]：

$$\boldsymbol{p}=\boldsymbol{p}_{ij}=\begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中：$\boldsymbol{P}_{ij}$——$i$类土地利用类型转化为$j$类土地利用类型的概率，$\boldsymbol{P}_{ij}$满足2个条件：

$\sum_{j=1}^{n} p_{ij}=1$；$(i,j=1,2,3\cdots,n)$；$0\leqslant P_{ij}\leqslant 1$。

平稳马尔柯夫链在时刻$T+1$的状态采用下式计算

$$S(T+(1)=S(T)P \quad (5)$$

### 2.2 数据来源

以长江三角洲为研究区域，以2000和2014年Landsat TM卫星影像为主要数据源，数据预处理包括数据读取、辐射定标、大气校正(FLAASH模型)、波段合成、影像镶嵌、研究区裁剪等。将长江三角洲的土地利用划分为6大类17小类，分别是耕地(包括水田和旱地)；林地(包括有林地、灌木林、疏林地和其他林地)；草地(包括高覆盖度草地、中覆盖度草地和地覆盖度草地)、水域(包括河渠、湖泊、水库坑塘、滩涂和滩地)；城乡、工矿、居民用地(包括城镇用地、农村居民点和其他建设用地)；未利用土地。解译精度约为89.4%，并以当年的植被图、地形图、地貌图、等专题图为依据进行数据校验。其他数据包括长江三角行政边界、社会经济数据等。图像处理及数据分析软件分采用ArcGIS 10.2，ENVI5.1，Matlab等。

## 3 结果与分析

### 3.1 生态系统服务价值计算

根据公式(1)，可计算得到2000和2014年长三角生态系统服务总价值量(表2)。结果表明：长三角15 a生态系统服务总价值减少了9.65亿元，下降了约0.74%，2000年的生态系统服务总价值为1 303.89亿元，2014年为1 294.25亿元。其中，林地对生态系统服务价值总量的贡献最大，分别为41.15%和41.01%，而未利用地的贡献最小。从各类用地生态系统服务价值的总体变化情况来看，水域和未利用土地的生态系统服务价值呈增长趋势，水域的增加量明显，占增加总量的93.95%；耕地、林地和草地生态系统服务价值呈降低趋势，以耕地的降低量最大，占三者降低总量的86.56%，其次是林地，草地最低。研究期内，水域生态系统服务价值占长江三角生态系统服务总价值的比例增加了3.4%，其生态系统服务价值所占比例均达30%以上，但其面积比例却远小于此，2000，2014年长江三角洲水域面积比例分别为11.29%和12.18%。表明生态价值系数较高的水域面积增加已经弥补不了由于耕地和林地减少引起的生态系统服务总价值的下降，使得长江三角洲生态系统服务总价值近年来有所下降。长江三角洲在今后土地利用中应注重对林地和耕地生态系统的保护，继续加强生态环境建设。

**表 2　长江三角洲地区生态系统服务价值(ESV)变化**

| 地 类 | 2000 年 | | 2014 年 | | 变量/亿元 | 变化率/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 价值/亿元 | 比例/% | 价值/亿元 | 比例/% | | |
| 耕 地 | 304.68 | 23.37 | 261.041 4 | 20.17 | −43.64 | −14.32 |
| 林 地 | 536.52 | 41.15 | 530.77 | 41.01 | −5.74 | −1.07 |
| 草 地 | 8.193 8 | 0.63 | 7.21 | 0.56 | −0.99 | −12.02 |
| 水 域 | 454.49 | 34.86 | 495.19 | 38.26 | 40.70 | 8.96 |
| 未利用土地 | 0.01 | 0 | 0.03 | 0 | 0.02 | 122.26 |
| 合 计 | 1 303.89 | 100.00 | 1 294.25 | 100.00 | −9.65 | −0.74 |

### 3.2　单项生态系统服务总价值计算

根据公式(2),可计算得到 2000 和 2014 年长三角单项生态系统服务价值量(表 3)。可以看出研究期内生态系统各项服务价值的结构顺序为:水源涵养>废物处理>土壤形成与保护>生物多样性保护>气候调节>气体调节>娱乐文化>原材料>食物生产。前 4 项生态系统服务功能都占据各时期内所有功能的 10%以上,并且总和也超过了生态系统服务功能的 60%,说明水源涵养、废物处理、土壤形成与保护、生物多样性保护是长三角地最主要的生态系统服务功能。水源涵养、废物处理和娱乐文化呈不断增加的趋势,尤其是水源涵养功能增加程度最显著,达到 13.3 亿元,占增加量的 60.56%。这与长三角水系发达、水量充沛密切相关。土壤形成与保护价值损失最大(10.5 亿元),气候调节次之(6.05 亿元),其损失均主要由林地和高覆盖地草地退化所致。

**表 3　长江三角洲地区生态系统单项服务功能价值(ESV)变化**

| 生态系统服务功能 | 2000 年 | | 2014 年 | | 变量/亿元 |
|---|---|---|---|---|---|
| | ESV/亿元 | 比例/% | ESV/亿元 | 比例/% | |
| 气体调节 | 108.89 | 8.35 | 104.71 | 8.09 | −4.18 |
| 气候调节 | 111.11 | 8.52 | 105.06 | 8.12 | −6.05 |
| 水源涵养 | 307.43 | 23.58 | 320.73 | 24.78 | 13.30 |
| 土壤形成与保护 | 162.44 | 12.46 | 151.94 | 11.74 | −10.50 |
| 废物处理 | 285.70 | 21.91 | 290.92 | 22.48 | 5.22 |
| 生物多样性保护 | 137.22 | 10.52 | 133.95 | 10.35 | −3.27 |
| 食物生产 | 47.88 | 3.67 | 41.58 | 3.21 | −6.30 |
| 原材料 | 68.41 | 5.25 | 67.09 | 5.18 | −1.32 |
| 娱乐文化 | 74.82 | 5.74 | 78.26 | 6.05 | 3.44 |
| 合 计 | 1 303.9 | 100 | 1 294.24 | 100 | −9.66 |

### 3.3　生态系统服务价值空间分异变化

以长三角 16 地级市为单位,对生态系统服务价值变化量和变化率进行计算和比较,结果详见表 4。可以看出,在 2000—2014 年 14 a 间,杭州、湖州等 10 个市的生态服务价值处于下降趋势,其中杭州市减少最多,达到 5.57 亿元,其次是上海、绍兴、无锡等市。其他地市生态系统服务价值均有不同程度的增加。其中,宁波市的增加量最大,为 9.92 亿元,占全省生态系统服务价值总增加量的 53.94%,年均增加 0.71 亿元,其次是台州市,增加了 4.97 亿元,占全省生态系统服务价值总增加量的 27.03%,年均增加 0.36 亿元,然后依次为泰州市、南京市、扬州市,常州市的增加量最少,为 0.02 亿元从变化幅度来看,生态系统服务价值变化率下降最快的是嘉兴市,达到了 −9.07%,其次是上海市、无锡市,分别达到了 −5.46%,−5.17%;其余地级市的变化幅度均低于 ±5%。

### 3.4　敏感性分析

根据式(3),通过对各土地利用类型的 VC 进行上下调整 50%的生态系统价值系数来计算敏感性指数,结果详见表 5。由表 5 可以看出:ESV 对 VC 的敏感性指数都小于 1,由高到低依次为林地、水域、耕地、草地、未利用土地,其中,草地敏感性指数约为 0.01,说明当草地的 VC 增加 1%时,ESV 将增加 0.01%。这表明,研究区域 ESV 对 VC 缺乏弹性,研究结果是可信的,可为长三角土地利用规划提供借鉴和参考。

### 3.5　生态系统服务价值的马尔科夫预测

运用马尔科夫过程进行预测的关键在于转移概率的确定。本研究先用 ENVI 5.1 软件中的 Class Statistics 工具统计长三角 2014 年土地利用类型面积,形成初始状态矩阵,再用 ENVI5.1 软件对长三角 2000 和 2014 年的遥感影像分类结果图进行转移矩阵计算,获得了各种土地利用类型之间的转化关系(表 6)。由表 6 可以看出,2014 年长江三角洲城镇用地面积共增加了 5 345.60 $km^2$。有 4 166.05 $km^2$ 来自耕地,92.52 $km^2$ 来自林地,11.26 $km^2$ 来自草地,134.35 $km^2$ 来自水域,826.60 $km^2$ 来自农村居民地,还有 112.76,2.06 $km^2$ 分别来自其他建设用地和未利用土地。同样了解到林地、草地、水域等土地利用类型的转变及其构成。其中 2014 年耕地面积减少最多,主要转化为城镇用地和农村居民用地。利用已求出的 2000—2014 年内的土地利用各类型面积转移矩阵,求出该时间段内各个土地利用类型的年平均转移

概率，构成 1 个年平均转移概率矩阵，该矩阵即为初始状态转移矩阵。利用 $\boldsymbol{P}(\boldsymbol{n})=\boldsymbol{P}_n(n=1,2,3)$求得最终转移概率矩阵。最后用初始状态矩阵与转移概率矩阵相乘(运算过程采用 Matlab 软件进行)，即可得最终状态矩阵，即 2015，2020，2025 年预测的长三角各土地类型面积，并求得未来 10 a 生态系统总服务价值。

**表 4 长江三角洲地区各市生态系统服务价值空间分异**

| 地区 | 生态系统服务价值 ESV | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2000 年 | | 2014 年 | | 变化量/亿元 | 排序 | 变化率/% | 排序 |
| | 价值/亿元 | 比例/% | 价值/亿元 | 比例/% | | | | |
| 长江三角洲 | 1 303.89 | 100.00 | 1 294.25 | 100.00 | −9.65 | — | −0.74 | — |
| 常州市 | 40.61 | 3.11 | 40.63 | 3.14 | 0.02 | 16 | 0.05 | 16 |
| 杭州市 | 250.06 | 19.18 | 244.50 | 18.89 | −5.57 | 1 | −2.23 | 6 |
| 湖州市 | 65.27 | 5.01 | 65.00 | 5.02 | −0.27 | 9 | −0.41 | 10 |
| 嘉兴市 | 25.79 | 1.98 | 23.45 | 1.81 | −2.34 | 5 | −9.07 | 1 |
| 南京市 | 56.05 | 4.30 | 57.10 | 4.41 | 1.05 | 14 | 1.87 | 14 |
| 南通市 | 81.50 | 6.25 | 80.88 | 6.25 | −0.62 | 8 | −0.76 | 8 |
| 宁波市 | 103.58 | 7.94 | 113.50 | 8.77 | 9.92 | 11 | 9.58 | 11 |
| 上海市 | 93.02 | 7.13 | 87.94 | 6.79 | −5.08 | 2 | −5.46 | 2 |
| 绍兴市 | 106.51 | 8.17 | 103.57 | 8.00 | −2.94 | 3 | −2.76 | 5 |
| 苏州市 | 136.06 | 10.44 | 134.93 | 10.43 | −1.13 | 6 | −0.83 | 7 |
| 泰州市 | 42.16 | 3.23 | 43.58 | 3.37 | 1.41 | 13 | 3.34 | 13 |
| 台州市 | 123.77 | 9.49 | 128.74 | 9.95 | 4.97 | 12 | 4.02 | 12 |
| 无锡市 | 55.14 | 4.23 | 52.30 | 4.04 | −2.85 | 4 | −5.17 | 3 |
| 扬州市 | 69.45 | 5.33 | 70.47 | 5.45 | 1.02 | 15 | 1.47 | 15 |
| 镇江市 | 31.67 | 2.43 | 30.58 | 2.36 | −1.09 | 7 | −3.44 | 4 |
| 舟山市 | 15.93 | 1.22 | 15.82 | 1.22 | −0.11 | 10 | −0.69 | 9 |

**表 5 调整生态价值系数后生态系统服务总价值(ESV)的变化情况(VC)及敏感性指数(CS)**

| 项目 | ESV/亿元 | | | | 与 VC 未调整前变化率之差/% | CS | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2000 年 | 2014 年 | 变化量 | 变化率/% | | 2000 | 2014 |
| 耕地 VC+50% | 1 456.23 | 1 424.77 | −31.46 | −2.16 | −1.42 | 0.23 | 0.20 |
| 耕地 VC−50% | 1 151.55 | 1 163.73 | 12.18 | 1.06 | 1.80 | | |
| 林地 VC+50% | 1 572.15 | 1 559.63 | −12.52 | −0.80 | −0.06 | 0.41 | 0.41 |
| 林地 VC−50% | 1 035.63 | 1 028.86 | −6.77 | −0.65 | 0.09 | | |
| 草地 VC+50% | 1 307.99 | 1 297.85 | −10.14 | −0.78 | −0.04 | 0.01 | 0.01 |
| 草地 VC−50% | 1 299.80 | 1 290.64 | −9.16 | −0.70 | 0.04 | | |
| 水域 VC+50% | 1 531.14 | 1 541.84 | 10.71 | 0.70 | 1.44 | 0.35 | 0.38 |
| 水域 VC−50% | 1 076.65 | 1 046.65 | −30 | −2.79 | −2.05 | | |
| 未利用土地 VC+50% | 1 303.90 | 1 294.26 | −9.64 | −0.74 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 未利用土地 VC−50% | 1 303.88 | 1 294.23 | −9.65 | −0.74 | 0.00 | | |

**表 6 长江三角洲地区 2000−2014 年土地利用各类型转化情况** $km^2$

| 项目 | 耕地 | 林地 | 草地 | 水域 | 城镇用地 | 农村居民点 | 其他建设用地 | 未利用地 | 面积减少合计 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 耕地 | 47 946.59 | 89.49 | 10.70 | 1 034.18 | 4 166.05 | 2 435.50 | 997.85 | 18.75 | 8 752.52 |
| 林地 | 63.06 | 31 053.34 | 29.73 | 34.77 | 92.52 | 72.36 | 159.97 | 35.73 | 488.14 |
| 草地 | 29.41 | 17.36 | 1 187.03 | 124.36 | 11.26 | 4.17 | 74.80 | 2.77 | 264.13 |
| 水域 | 331.81 | 5.89 | 19.89 | 11 722.07 | 134.35 | 47.15 | 288.34 | 4.51 | 831.94 |
| 城镇用地 | 19.98 | 1.61 | 0.06 | 1.97 | 3 391.69 | 160.33 | 1.57 | 0.13 | 185.65 |
| 农村居民点 | 121.67 | 5.97 | 0.02 | 35.58 | 826.60 | 4 999.70 | 18.10 | 2.47 | 1 010.41 |
| 其他建设用地 | 15.63 | 3.03 | 0.04 | 9.91 | 112.76 | 9.73 | 390.64 | 9.12 | 160.22 |
| 未利用地 | 12.42 | 1.15 | 0.00 | 0.32 | 2.06 | 0.81 | 5.81 | 21.92 | 22.57 |
| 面积增加合计 | 593.98 | 124.50 | 60.44 | 1 241.09 | 5 345.60 | 2 730.05 | 1 546.44 | 73.48 | — |

根据表 7 对长三角 2015－2017 年各类土地利用面积变化进行预测,可以看出城镇用地、农村居民点、未利用土地面积出现不同程度增加,变化率分别达到 42.87%,15.20%,21.02%。这表明随着经济高速发展、城市化进程加快,长江三角洲建设用地占用土地的强度还将不断加大。

由预测结果可以看出,长江三角洲 2015—2017 年总的生态系统服务价值呈下降的趋势,从 1 223.5 亿元减少至 946.85 亿元,共减少 276.65 亿元。长江三角洲不同土地利用类型的生态系统服务价值变化规律略有不同:2015—2017 年内,仅有未利用土地的生态系统服务价值不变,其他的均出现下降。其中,耕地的生态系统服务价值量减少最多,达到 46.20 亿元,占减少总量的 71.74%;其次是林地,减少量达到 11.95 亿元,占减少总量的18.56%;水域、草地的生态系统服务价值分别减少了 5.03,1.22 亿元,所占土地生态服务价值减少总量的比例分别为 7.81% 和 1.89%。

**表 7　研究区 2015,2020,2025 年各类土地利用面积及生态系统服务价值预测**

| 类 型 | 土地利用分类面积预测值/$10^4$ hm$^2$ | | | 变化率/% | 生态价值/亿元 | | | 价值变化/亿元 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 | | 2015 年 | 2016 年 | 2017 年 | |
| 耕地 | 3 62.42 | 3 15.53 | 2 76.36 | －23.75 | 194.54 | 169.36 | 148.34 | －46.20 |
| 林 地 | 3 05.57 | 3 02.06 | 2 98.53 | －2.30 | 518.66 | 512.70 | 506.71 | －11.95 |
| 草 地 | 9.67 | 8.48 | 7.50 | －22.44 | 5.44 | 4.77 | 4.22 | －1.22 |
| 水 域 | 1 41.36 | 1 41.07 | 1 39.95 | －1.00 | 504.80 | 503.77 | 499.77 | －5.03 |
| 城镇用地 | 1 80.79 | 2 21.49 | 2 58.30 | 42.87 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 农村居民点 | 1 01.59 | 1 10.11 | 1 17.03 | 15.20 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 其他建设用地 | 33.88 | 36.32 | 37.21 | 9.83 | 0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 未利用土地 | 1.76 | 1.99 | 2.13 | 21.02 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.01 |
| 合 计 | 11 37.04 | 11 37.05 | 11 37.01 | 0.00 | 1 223.5 | 946.88 | 946.85 | －276.65 |

## 4　结 论

2000—2014 年长三角土地生态系统服务价值总体呈不断下降的时序变化趋势,年下降率为 0.74%。这与长三角耕地、林地、草地面积的大幅度减少,引起土壤形成与保护、食物生产、气候调节等价值快速下降密切相关。即使高生态价值的水域面积增加也弥补不了由于耕地、林地、草地减少引起的生态系统服务总价值的下降。在空间上,杭州市、苏州市、台州市的生态系统服务价值在各地级市排序中排前 3 位,镇江市、嘉兴市、舟山市的生态系统服务价值最低,尤其是嘉兴市在研究期间生态系统服务价值的下降率最高,迫切需要保护耕地、水域,继续加大植树造林力度,维持生态系统的功能。

根据马尔柯夫过程对 2015—2017 年长三角的土地利用结构和生态系统服务价值进行了预测。未来土地利用生态系统服务价值变化趋势与研究区主要构成者耕地、林地、水域的变化趋势保持一致,研究区域生态系统总服务价值将减少 276.65 亿元。因此,在未来土地调整中应更多地考虑到生态服务价值的重要意义,格外注意对森林生态系统的保护,控制建设用地占用耕地和林地,提高土地利用集约度。

[ 参 考 文 献 ]

[1] Daily G C, Myers J P, Reichert J. Nature's service: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington: Island Press, 1997.

[2] Seppelt R, Dormann C F, Eppink F V, et al. A quantitative review of ecosystem service studies: Approaches, shortcomings and the road ahead [J]. Journal of Applied Ecology, 2011,48(3):630-636.

[3] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making [J]. Ecological Economics, 2009,68(3):643-653.

[4] Chen Zhongxin, Zhang Xinshi. Value of ecosystem services in China[J]. Chinese Science Bulletin, 2000,45(10):870-876.

[5] Pearce D. Auditing the Earth: The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Environment, 1998,40(2):23-28.

[6] 黄湘,陈亚宁,马建新.西北干旱区典型流域生态系统服务价值变化[J].自然资源学报,2011,26(8):1364-1376.

[7] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997,387(7):253-260.

[8] 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.

[9] Li Renqiang, Dong Ming, Cui Jianyong, et al. Quantification of the impact of land-use changes on ecosystem services: A case study in Pingbian County, China[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2007, 128(4):503-510.

(下转第 265 页)

[6] 路云阁,蔡运龙,许月卿.走向土地变化科学:土地利用/覆被变化研究的新进展[J].中国土地科学,2006,20(1):55-61.

[7] 唐华俊,吴文斌,杨鹏,等.土地利用/土地覆被变化(LUCC)模型研究进展[J].地理学报,2009,64(4):456-468.

[8] 孙强,蔡运龙,王乐.北京耕地流失的时空特征与驱动机制[J].资源科学,2007,29(4):158-163.

[9] 金淑婷,李博,杨永春,等.甘肃省土地利用变化的基本特征及其格局[J].兰州大学学报:自然科学版,2016,52(3):334-341.

[10] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等.1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].地理学报,2014,69(1):54-63.

[11] 武鹏飞,宫辉力,周德民.基于复杂网络的官厅水库流域土地利用/覆被变化[J].地理学报,2012,67(1):113-121.

[12] 张琨,张宝雷,冯朝阳,等.基于复杂网络的小清河流域土地利用/覆被变化研究[J].水土保持通报,2013,33(4):81-84.

[13] 汪建珍,卢李朋,赵锐锋,等.基于土地转移流的干旱区河谷城市土地系统稳定性评价:以兰州市近郊四区为例[J].经济地理,2014,34(4):153-158.

[14] 蔺小虎,姚顽强,邱春霞.黄土丘陵沟壑区退耕驱动下土地利用变化:以陕西省安塞县纸坊沟流域为例[J].山地学报,2015,33(6):759-769.

[15] 廖谌婳,封志明,李鹏,等.中老缅泰交界地区土地利用变化信息挖掘与国别对比[J].自然资源学报,2015,30(11):1785-1797.

[16] 王曼曼,吴秀芹,吴斌,等.近 25 年盐池北部风沙区土地系统变化及空间集聚格局分析[J].农业工程学报,2014,30(21):256-267.

[17] 吕立刚,周生路,周兵兵,等.1985 年以来江苏省土地利用变化对人类活动程度的响应[J].长江流域资源与环境,2015,24(7):1086-1093.

[18] 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等.1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].地理学报,2014,69(1):54-63.

[19] 王立军,安慧君,张韬,等.基于 RS,GIS 技术的土地利用转移关系研究:以三晌梁地区为例[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2009,30(4):99-102.

[20] 张超,王琳,张秋霞,等.布哈河流域土地利用转移矩阵及空间变化研究[J].水利水电技术,2016,47(5):6-11.

[21] 乔伟峰,盛业华,方斌,等.基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘:以江苏省苏州市为例[J].地理研究,2013,32(8):1497-1507.

[22] 贾科利,张俊华,马正亮,等.生态脆弱区土地利用变化与沙漠化响应研究:以宁夏中部干旱带为例[J].干旱区资源与环境,2011,25(10):98-103.

[23] 贾科利,张俊华.生态脆弱区土地利用时空格局变化分析:以宁夏中部干旱带为例[J].干旱地区农业研究,2011,29(3):221-225.

[24] 贾科利,张俊华.宁夏中部干旱带土地利用变化及驱动力分析[J].水土保持研究,2011,18(6):62-66.

(上接第 259 页)

[10] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas[J]. Ecological Economics, 2001,39(3):333-346.

[11] Hulst R. On the dynamics of vefetation: Markovchains as models of succession[J]. Vegetation, 1979,40(1):3-14.

[12] 胡汝晓,赵松义,谭周进,等.烟草连作对稻田土壤微生物及酶的影响[J].核农学报,2007,21(5):494-497.

[13] 王晓峰,任志远,黄青.农牧交错区县城土地利用变化及驱动力分析:以陕北神木县为例[J].干旱区地理,2003,26(4):402-407.

[14] 郜鲁豪,徐旌.基于 Markov 模型的安宁市土地利用预测[J].云南地理环境研究,2010,22(2):87-89.

[15] 蓝永超,丁永建,康尔泗,等.黑河流域水资源动态变化及其趋势的灰色 Markov 链预测[J].中国沙漠,2003,24(3):435-440.

[16] 李黔湘,王华斌.基于马尔科夫模型的涨渡湖流域土地利用变化预测[J].资源科学,2008,30(10):1542-1543.