

陈燕, 燕彩霞, 罗婵, 等. 长江三角洲生态系统服务重要性空间分布特征评价[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(1): 103-108.  
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2019.01.015

# 长江三角洲生态系统服务重要性空间分布特征评价

陈燕<sup>1</sup>, 燕彩霞<sup>1</sup>, 罗婵<sup>1</sup>, 陈星宇<sup>1</sup>, 邱晓敏<sup>2</sup>

(1. 东华大学环境科学与工程学院, 上海 201620; 2. 密苏里州立大学地理地质规划系, 美国斯普林菲尔德 65897)

**摘要:** 选择生物多样性保护、土壤保持、水源涵养 3 种生态系统服务功能, 建立适用于长江三角洲地区的自然生态系统服务重要性评价模型与方法, 利用变异系数法确定权重, 将生态系统服务重要性划分为极重要、中等重要、比较重要和一般重要 4 个等级, 综合评价长江三角洲地区的生态功能重要性及其空间分布特征。结果表明: 长江三角洲地区生物多样性保护以极重要区为主, 占 49.17%, 包括上海市、杭州市、宁波市、嘉兴市、绍兴市、台州市等; 水源涵养以一般重要区为主, 占 42.52%, 包括上海市、南通市、扬州市、泰州市和苏州市; 土壤保持以比较重要区为主, 占 48.24%, 包括杭州市、南京市、常州市、无锡市、镇江市和嘉兴市等。综合评价结果以比较重要区面积最大, 占 35.99%, 大部分城市均有分布; 中等重要区占 24.4%, 主要分布在泰州市、台州市、嘉兴市、宁波市、湖州市、绍兴市等; 极重要区占 21.85%, 主要分布在宁波市南部、杭州市和绍兴市等。

**关键词:** 生物多样性保护; 土壤保持; 水源涵养; 生态系统服务功能; 空间特征; 长江三角洲

**中图分类号:** X171.1      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-4440(2019)01-0103-06

## The evaluation on the spatial pattern of the importance of the ecosystem service in the Yangtze river delta

CHEN Yan<sup>1</sup>, YAN Cai-xia<sup>1</sup>, LUO Chan<sup>1</sup>, CHEN Xing-yu<sup>1</sup>, QIU Xiao-min<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Donghua University, Shanghai 201620, China; 2. Department of Geographical and Geological Planning, Missouri State University, Springfield 65897, America)

**Abstract:** Three major ecosystem service functions, including biodiversity conservation, soil conservation and water conservation, were selected to establish a model and method for assessing the importance of natural ecosystem services for the Yangtze river delta. The weight was determined by variation coefficient method, the importance of the ecosystem service was divided into four grades of extreme importance, medium importance, comparative importance and general importance, to evaluated the importance and spatial distribution characteristics of ecological functions in the Yangtze river delta comprehensively. The results showed that the extremely important area of biodiversity conservation of the Yangtze river delta accounted for 49.17%, including Shanghai, Hangzhou, Ningbo, Jiaxing, Shaoxing and Taizhou. The main area of water conservation was medium important area, accounting for 42.52%, including Shanghai, Nantong, Yangzhou, Taizhou and Suzhou. The comparatively important area of soil conservation accounted for 48.24%, including Hangzhou, Nanjing, Changzhou, Wuxi, Zhenjiang and Jiaxing. The comprehensive evaluation results showed that the comparatively important areas

accounted for 35.99%, mainly distributed in most cities. The medium important area accounted for 24.4%, mainly distributed in Taizhou, Taizhou, Jiaxing, Ningbo, Huzhou, Shaoxing, etc. The extremely important area accounted for 21.85%, mainly distributed in the south of Ningbo, Hangzhou and Shaoxing.

**Key words:** biodiversity conservation; soil conser-

收稿日期: 2018-04-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41471089); 中央高校专项科研基金项目(2232016D3-01)

作者简介: 陈燕(1976-), 女, 山东淄博人, 博士, 副教授, 主要研究方向为生态安全、环境遥感与环境信息系统。(E-mail) chenyan-hjxy@dhu.edu.cn

vation; water conservation; ecosystem service; spatial pattern; the Yangtze river delta

生态系统服务功能是生态系统及其生态过程所形成与维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用,是人类得以生存与现代文明得以存在的基础<sup>[1-3]</sup>。国内外学者对生态系统服务功能的研究主要集中在不同类型,不同尺度,不同区域的生态系统服务评估方法,价值评估及其影响因素,区域土地利用或景观格局变化对生态系统服务价值的影响<sup>[4-22]</sup>等方面。当前生态服务功能重要性方面的研究还处于起步阶段。长江三角洲地区是国内区域经济一体化程度最高的地区,要实现区域生态环境问题联防联控,建立地区间生态保护补偿机制,就需要评价区域生态系统服务功能重要性及其空间分布特征。

长江三角洲地区包括上海、南京、南通、常州、扬州、无锡、泰州、苏州、镇江、台州、嘉兴、宁波、杭州、湖州、绍兴和舟山共 16 个城市,是中国最重要的经济区域。2016 年长三角地区生产总值达 1.229 576×10<sup>13</sup> 元,常住人口为 1.108 282×10<sup>8</sup> 人,相比户籍人口多了 2.346 680×10<sup>7</sup> 人。区域内物种丰富多样,有中华鲟、东滩鸟类、北亚热带常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林及金钱松、天目玉兰等野生动植物自然保护区,对于长江下游的生态安全维护具有非常重要的作用。在经济快速发展,外来人口大量涌入,快速城镇化的条件下,生态破坏和环境污染必然会破坏生物多样性,降低生态服务功能。本研究通过对长江三角洲生态系统服务功能重要性和空间差异的综合评估,为确定重点生态保护区,加强生态系统管理和制定跨区域的生态保护政策提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

根据 2014 年 Landsat 遥感影像,通过人机交互解译和野外实地验证获得土地利用数据。根据各省市环保局相关文本数据资料及图件,空间矢量化得到长江三角洲环境保护区相关数据。从地球系统科学数据共享平台获取长江三角洲地区土壤类型数据等。通过长江三角洲统计年鉴获取人口和生产总值等相关数据。

### 1.2 研究方法

在科学分析长江三角洲的自然、社会经济条件

下,利用遥感(RS)和地理信息系统(GIS)技术,参照生态环境部发布的《生态功能区划技术暂行规程》<sup>[23]</sup>,将生物多样性保护、水源涵养和土壤保持作为长江三角洲地区生态系统服务功能重要性评价的核心指标,综合分析长江三角洲地区生态系统服务功能重要性的空间分布特征。

1.2.1 生物多样性保护重要性评价方法 借鉴相关研究成果的评价方法<sup>[22,24-25]</sup>,根据国家及省级重点保护物种分布区、自然保护区、地质公园、风景名胜等级,确定生物多样性保护的重要程度(表 1、图 1)。

表 1 生物多样性保护重要性等级划分

Table 1 Assessment levels of importance for biodiversity conservation

重要性分级	国家重点保护物种分布区等级	自然保护区、地质公园、风景名胜区等级	赋值
极重要	一级	国家级	7
中等重要	二级	保护物种,省级	5
比较重要		市级	3
一般重要		县级	1

1.2.2 水源涵养重要性评价方法 主要评价区域水资源的保障程度及调节洪水的作用。参考相关研究成果<sup>[25-27]</sup>,结合国家分级标准和长江三角洲实际情况,采用综合指数计算方法,将地貌类型、植被覆盖和降雨量分级赋值(表 2)。基于公式(1)计算水源涵养综合指数,利用 GIS 的空间分析功能对 3 个评价因子分布图进行叠加分析并按极、中等、比较、一般重要进行分类。水源涵养重要性的综合指数计算公式为:

$$SS_b = \sqrt[3]{\prod_{a=1}^3 C_a} \quad (1)$$

式中,SS<sub>b</sub> 为 b 空间单元水源涵养重要性综合指数,C<sub>a</sub> 为 a 因素重要性等级值。

1.2.3 土壤保持重要性评价方法 主要是利用土壤侵蚀敏感性对下游地区的危害程度进行判断,既考虑土壤侵蚀敏感性,也考虑河流分级情况。通过 GIS 软件,对长江三角洲的河流水系进行分级,得到河网分级图;再将河网分级流域图和土壤侵蚀敏感性分布图进行叠加,根据水体级别和敏感级别(表 3)评价区域土壤保持重要性(图 1)。

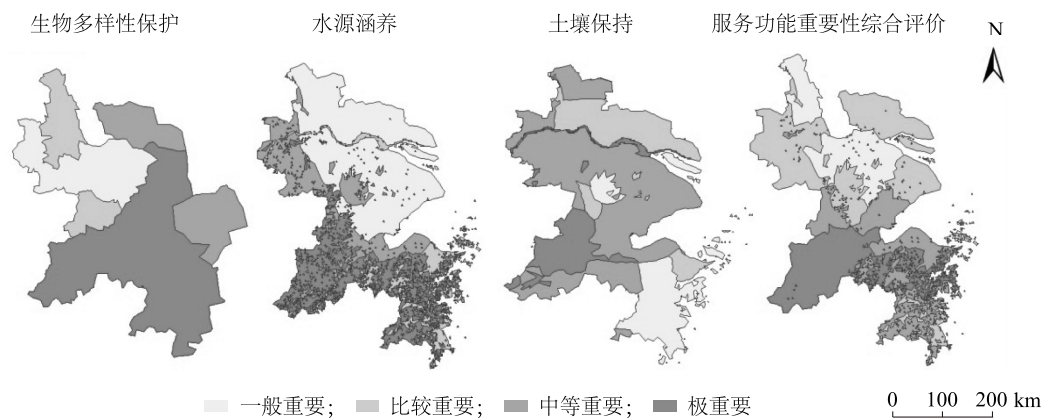


图 1 长江三角洲生态系统服务功能重要性评价图  
Fig.1 Evaluation map of ecosystem service function in Yangtze river delta

表 2 水源涵养重要性等级划分

Table 2 Assessment levels of importance for water conservation

地貌类型	植被覆盖	降水 (mm)	重要性	赋值	水源涵养综合指数
丘陵	有林地	<1 000	极重要	7	4.5~6.5
低山丘陵	灌木林,疏林其他林	1 000~1 499	中等重要	5	3.5~4.4
丘陵平原	草地	1 500~2 000	比较重要	3	2.5~3.4
平原,岛屿	耕地,水域,城乡,工矿、居民用地,未利用地	>2 000	一般重要	1	1.0~2.4

表 3 土壤保持重要性等级划分

Table 3 Assessment levels of soil conservation importance

河流级别	土壤保持重要性等级			
	土壤侵蚀不敏感和轻度敏感	土壤侵蚀中度敏感	土壤侵蚀高度敏感	土壤侵蚀极敏感
1、2 级	中等重要	极重要	极重要	极重要
3 级	比较重要	中等重要	中等重要	极重要
4、5 级	一般重要	比较重要	中等重要	中等重要

1.2.4 生态系统服务功能重要性综合评价方法  
生物多样性保护、土壤保持和水源涵养的生态系统服务功能重要性只是反映了生态系统服务功能的某一方面,要综合考虑这些要素的作用,需要对其进行综合统计<sup>[25]</sup>。采用加权综合指数法计算生态系统服务功能的重要性综合指数( $SS_b$ ),其中权重由变异系数法求得,其计算公式为:

$$SS_b = \sum_{a=1}^3 A_{ab} W_{ab} \tag{2}$$

式中, $A_{ab}$ 为研究区域内  $b$  空间单元第  $a$  个指标的重要性等级值, $W_{ab}$ 为研究区域内  $b$  空间单元第  $a$  个指标的权重。

2 结果与分析

2.1 长江三角洲生物多样性保护重要性及其空间分布

从表 4 中可以看出,长江三角洲生物多样性保护极重要区占 49.17%,面积为54 355 km<sup>2</sup>,包括较多的国家级自然保护区、地质公园、风景名胜區;一般重要区占 21.79%,面积为24 092 km<sup>2</sup>;比较重要区和中等重要区占比相差无几,分别占 14.79%和 14.25%,面积分别为16 345 km<sup>2</sup>和15 754 km<sup>2</sup>。

空间分布上,极重要区主要包括上海、杭州、绍兴、宁波、嘉兴、台州,尤其宁波、杭州和台州 3 个城市面积占比最高,该区内分布了大量国家的自然保护区和风景名胜區,包括上海九段沙湿地、东滩鸟类和长江口中华鲟等国家级自然保护区以及杭州西湖风景名胜區、绍兴诸暨的浣江-五泄风景名胜區、温岭市新河镇的方山-长屿硐天风景名胜區等。比较重要区主要包括扬州、镇江和湖州。中等重要区主要位于泰州、舟山和南通,有舟山市的普陀山风景名胜區、南通市海门快活林休闲山庄、南通市通州石港生态旅游风景区等。一般重要区主要位于南京、

无锡和苏州(图 1、表 5)。

## 2.2 长江三角洲水源涵养重要性及其空间分布

长江三角洲水源涵养以一般重要区为主,占 42.52%,面积为 47 001 km<sup>2</sup>;其次为极重要区,占 26.60%,面积 29 408 km<sup>2</sup>;中等重要区占 21.67%,面积 23 958 km<sup>2</sup>;比较重要区最少,占 9.21%,面积 10 179 km<sup>2</sup>(表 4)。

极重要区主要分布在台州、宁波、杭州、湖州、绍兴,其中杭州的面积最广;中等重要区主要分布在南京、常州、扬州、苏州、镇江、宁波、杭州、湖州、绍兴,其中南京的面积最广;比较重要区分布在台州、宁波和绍兴;一般重要区除了南京和绍兴有分布以外,其他城市均有分布,以上海、南通、扬州、泰州和苏州为主要分布区(图 1、表 5)。

## 2.3 长江三角洲土壤保持重要性及其空间分布

长江三角洲土壤保持以比较重要区为主,占 48.24%,面积为 53 331 km<sup>2</sup>;其次为中等重要区,占 35.07%,面积 38 773 km<sup>2</sup>;一般重要区占 9.8%,面积 10 838 km<sup>2</sup>;极重要区面积最小,占 6.88%,面积 7 604 km<sup>2</sup>(表 4)。

空间分布上,长江三角洲中部及东南部基本上属于土壤保持中等重要区,除南通、舟山和台州外其

他 13 个城市均有分布,杭州面积最大,南京、常州、无锡、镇江和嘉兴均有大面积分布;极重要区主要分布在杭州和湖州,湖州分布最广;比较重要区主要在上海、南通、扬州、泰州、苏州、宁波和绍兴,均有大面积分布;一般重要区主要分布在台州和舟山,以台州为主(图 1、表 5)。

## 2.4 长江三角洲生态系统服务功能综合评价

长江三角洲生态系统服务功能以比较重要区最大,占 35.99%,面积为 39 780 km<sup>2</sup>;中等重要区占 24.40%,面积 26 975 km<sup>2</sup>;极重要区占 21.85%,面积 24 156 km<sup>2</sup>;一般重要区占 17.76%,面积 19 635 km<sup>2</sup>(表 4)。

极重要区主要分布在长江三角洲的南部,以宁波、杭州和绍兴等 3 个生物多样性高、土壤保持性好、水源涵养能力强的地区为主,为稳定长江三角洲的生态系统及其服务功能发挥着重要作用,其中杭州面积最大。中等重要区主要分布在泰州、台州、嘉兴、宁波、湖州、绍兴等地区,以台州面积最大;比较重要区主要分布在上海、南京、南通、常州、扬州、无锡、泰州、苏州、镇江、台州、湖州、舟山等,以南通、南京、上海面积为大;一般重要区主要分布在常州、扬州、无锡、泰州、苏州,以苏州、扬州为主(图 1、表 5)。

表 4 长江三角洲生态系统服务功能重要性综合评价结果

Table 4 Comprehensive evaluation results of ecosystem services importance in Yangtze river delta

重要性	生物多样性保护		水源涵养		土壤保持		生态系统服务功能	
	面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)	面积 (km <sup>2</sup> )	比例 (%)
一般重要	24 092	21.79	47 001	42.52	10 838	9.80	19 635	17.76
比较重要	16 345	14.79	10 179	9.21	53 331	48.24	39 780	35.99
中等重要	15 754	14.25	23 958	21.67	38 773	35.07	26 975	24.40
极重要	54 355	49.17	29 408	26.60	7 604	6.88	24 156	21.85

## 3 讨论

本研究从生物多样性保护、水源涵养以及土壤保持三方面,对长江三角洲自然生态系统服务功能进行了较详细的计算分析,并分析了其空间分布特征。研究结果表明:长江三角洲生物多样性保护以极重要区为主,占 49.17%,主要包括上海和除舟山之外的浙江 6 市;水源涵养以一般重要区为主,占 42.52%,主要

包括上海、除南京以外的江苏 7 市和浙江的嘉兴、舟山;土壤保持以比较重要区为主,占 48.24%,主要包括上海、江苏 5 市(不包括常州、无锡和镇江)和浙江的宁波、绍兴;生态系统服务功能以比较重要区和中等重要区为主,分别占 35.99%和 24.40%,包括除杭州和绍兴两地的绝大部分地区。从北部的泰州、扬州到南部的台州,生态环境质量呈逐渐上升趋势,生态系统服务功能重要性也相应增强。



表 5 长江三角洲生态服务重要区面积统计

Table 5 Importance factor statistics of ecological services in the Yangtze river delta

地区	生物多样性保护重要区面积 (km <sup>2</sup> )				水源涵养重要区面积 (km <sup>2</sup> )				土壤保持重要区面积 (km <sup>2</sup> )				生态系统服务功能综合重要区面积 (km <sup>2</sup> )			
	一般 重要	比较 重要	中等 重要	极 重要	一般 重要	比较 重要	中等 重要	极 重要	一般 重要	比较 重要	中等 重要	极 重要	一般 重要	比较 重要	中等 重要	极 重要
上海	35	0	12	6 293	6 237	11	84	8	4	6 314	22	0	33	6 185	114	8
南京	6 580	42	0	0	0	170	5 896	556	0	7 6 615	0	0	0	6 617	5	0
南通	8	0	8 520	16	8 104	413	27	0	0	8 544	0	0	12	8 505	27	0
常州	4 339	46	0	0	2 329	0	1 867	189	0	2 4 383	0	2 119	1 759	507	0	0
扬州	13	6 621	0	0	5 344	123	1 125	42	0	6 611	23	0	5 351	1 243	40	0
无锡	4 621	7	0	0	3 352	14	851	411	0	53 4 572	3	3 304	1 301	23	0	0
泰州	12	42	5 733	0	5 483	270	34	0	0	5 756	3	28	2 049	1 944	1 794	0
苏州	8 384	15	25	64	6 460	228	1 686	114	0	8 451	37	0	6 288	2 186	14	0
镇江	69	3 774	0	0	2 303	112	1 117	311	0	26 3 817	0	58	3 524	261	0	0
台州	0	0	0	9 411	4 3 101	873	5 433	9 361	50	0	0	0	3 042	6 345	24	24
嘉兴	10	17	11	3 877	3 837	0	58	20	3	58 3 835	19	18	63	3 774	60	60
宁波	0	0	41	9 775	22 3 079	2 084	4 631	41	9 137	638	0	0	28	6 242	3 546	3 546
杭州	0	33	0	16 563	337	629	4 707	10 923	0	47 14 796	1 753	0	16	384	16 196	16 196
湖州	21	5 748	0	49	2 153	19	1 163	2 483	0	15	29	5 774	28	2 300	3 420	70
绍兴	0	0	0	8 279	0 1 920	2 072	4 287	11	8 238	3	27	0	2	4 025	4 252	4 252
舟山	0	0	1 412	28	1 036	90	314	0	1 418	22	0	0	375	1 065	0	0

## 参考文献:

- [1] Millennium Ecosystem Assessment Series. Ecosystems and human well-being: A framework for assessment [M]. Washington D C; Island Press, 2003.
- [2] 郑 华,李屹峰,欧阳志云,等. 生态系统服务功能管理研究进展[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 702-710.
- [3] COSTANZA R, D ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [4] 李屹峰,罗跃初,刘 纲,等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例[J]. 生态学报, 2013, 33(3): 726-736.
- [5] GASCOIGNE W R, HOAG D, KOONTZ L, et al. Valuing ecosystem and economic services across land-use scenarios in the Prairie Pothole Region of the Dakotas, USA [J]. Ecological Economics, 2011, 70(10): 1715-1725.
- [6] 石惠春,师晓娟,刘 鹿,等. 兰州城市生态系统服务价值评估方法与结果比较[J]. 中国人口、资源与环境, 2013, 23(2): 30-35.
- [7] 黄 婷,金 莲. 土地利用变化对生态系统服务价值的影响及灰色预测——以贵州省遵义市为例[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(12): 275-279.
- [8] 宋豫秦,张晓蕾. 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法[J]. 生态学报, 2014, 34(6): 1352-1360.
- [9] 师庆三. 干旱区景观尺度下生态系统服务功能价值评价体系构建与应用初步研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2010.
- [10] 王 玉,傅碧天,吕永鹏,等. 基于 SolVES 模型的生态系统服务社会价值评估——以吴淞炮台湾湿地森林公园为例[J]. 应用生态学报, 2016, 27(6): 1767-1774.
- [11] 刘亚男,李淑杰,孙 博,等. 扶余市生态服务价值对土地利用变化的响应[J]. 江苏农业学报, 2017, 33(3): 592-597.
- [12] 赵金龙,王烁鑫,韩海荣,等. 森林生态系统服务功能价值评估研究进展与趋势[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 2229-2237.
- [13] 王 兵,鲁绍伟,尤文忠,等. 辽宁省森林生态系统服务价值评

- 估[J].应用生态学报,2010,21(7):1792-1798.
- [14] 房志,徐卫华,张晶晶,等.基于生物多样性与生态系统服务功能的秦岭山系自然保护体系规划[J].生态学报,2017,37(16):5334-5341.
- [15] 李强,廖和平,李义龙,等.经济快速发展时期土地利用变化与生态系统服务价值研究——以重庆市渝北区为例[J].江苏农业科学,2018,46(10):254-259.
- [16] 陈春阳,陶泽兴,王焕炯,等.三江源地区草地生态系统服务价值评估[J].地理科学进展,2012,31(7):978-984.
- [17] 丁冬静,李玫,廖宝文,等.海南省滨海自然湿地生态系统服务功能价值评估[J].生态环境学报,2015,24(9):1472-1477.
- [18] 付梦娣,李俊生,章荣安,等.浙江省南部山区生态系统服务价值评估[J].生态经济,2016,32(4):189-193,198.
- [19] 岳东霞,杜军,巩杰,等.民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析[J].生态学报,2011,31(9):2567-2575.
- [20] 龚溪,曹铭昌,孙孝平,等.武夷山市生态系统服务价值评估[J].生态与农村环境学报,2017,33(12):1094-1101.
- [21] 魏慧,赵文武,张骁,等.基于土地利用变化的区域生态系统服务价值评价——以山东省德州市为例[J].生态学报,2017,37(11):3830-3839.
- [22] 李月臣,刘春霞,闵婕,等.三峡库区生态系统服务功能重要性评价[J].生态学报,2013,33(1):168-178.
- [23] 国家环境保护总局.生态功能区划暂行规程[Z].2003.
- [24] 陈涛,叶有华,孙芳芳,等.基于SPOT数据的深圳市生态系统服务功能重要性评价[J].生态经济,2018,34(2):151-157.
- [25] 赵予爽,刘春霞,李月臣,等.重庆市生态系统服务功能重要性评价[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2017,34(3):44-53,141.
- [26] 杨伟州,邱硕,付喜厅,等.河北省生态功能区划研究[J].水土保持研究,2016,23(4):269-276.
- [27] 李艳春.区域生态系统服务功能重要性研究[D].太原:太原理工大学,2011.

(责任编辑:张震林)