

DOI: 10.5846/stxb202108202321

魏佳豪, 温玉玲, 龚志军, 王晓龙, 蔡永久. 近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用变化及生态系统服务价值. 生态学报, 2022, 42(22): 9261-9273.
Wei J H, Wen Y L, Gong Z J, Wang X L, Cai Y J. Land use changes and ecosystem service value in the buffer zone of Poyang Lake in recent 30 years. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(22): 9261-9273.

近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用变化及生态系统服务价值

魏佳豪^{1,3}, 温玉玲², 龚志军^{1,3}, 王晓龙^{1,3}, 蔡永久^{1,3,*}

1 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008

2 南京师范大学, 地理科学学院, 南京 210023

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 滨岸缓冲带作为湖泊生态系统的重要组成部分, 研究其土地利用变化及生态系统服务价值 (ESV) 对维持湖泊水安全和生物多样性具有重要意义。基于 1988—2018 年间 7 期 Landsat 遥感卫星影像数据, 采用土地利用相关分析、ESV 当量因子估算等方法, 深入分析了鄱阳湖滨岸缓冲带近 30 年土地利用时空演变特征及 ESV 变化。结果表明: (1) 近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用类型逐渐形成了以耕地为主导, 林地、草地、水域、建设用地等主要地类占比相对均衡的格局。耕地面积明显增加, 增幅为 21.48%; 建设用地和林地面积增幅分别为 542.90% 和 326.23%, 耕地、水域、草地是二者面积增加的主要来源; 草地面积出现明显减少, 幅度达 66.79%, 主要转变为林地、耕地和水域; 水域和未利用地面积出现小幅减少。研究区内, 南昌县综合土地利用动态度以 1.81% 高于其他 11 个区 (县), 土地利用较其他区 (县) 出现更大的变化。 (2) 近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带生态系统服务价值总体呈现先上升后下降的趋势, 总损失 25.54 亿元, 降幅为 24.18%; 各类 ESV 的变化趋势与各土地利用类型面积变化的趋势相似, 其中水文调节为研究区内最主要的生态服务功能, 占总 ESV 的 66.03%。 (3) 水域和草地对 ESV 变化的贡献率最大, 是鄱阳湖滨岸缓冲带 ESV 变化的主要影响因素; 水域面积减少是导致滨岸缓冲带 ESV 下降的主要原因。总体而言, 修复和保护滨岸缓冲带内的水域和草地对维持鄱阳湖生态系统生物多样性和服务功能具有重要作用, 对周边乃至长江中下游地区的生态环境保护亦具有重要意义。

关键词: 缓冲带; 土地利用变化; 生态系统服务价值; 鄱阳湖

Land use changes and ecosystem service value in the buffer zone of Poyang Lake in recent 30 years

WEI Jiahao^{1,3}, WEN Yuling², GONG Zhijun^{1,3}, WANG Xiaolong^{1,3}, CAI Yongjiu^{1,3,*}

1 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

2 School of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The buffer zone is an indispensable part of the lake ecosystem. Study on land use changes and ecosystem service value (ESV) in the buffer zone is important to maintain the water security and biodiversity of the lake. Based on seven Landsat remote sensing satellite images from 1988 to 2018, this study adopts Land use correlation analysis method and ESV equivalent factor estimate method to deeply analyze spatiotemporal changes of land use and ESV changes in the buffer zone

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32071572); 中国科学院青年创新促进会项目 (2020316); 长江水生生物完整性评价指标体系研究项目 (202003229)

收稿日期: 2021-08-20; **网络出版日期:** 2022-07-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: caiyj@niglas.ac.cn

of Poyang Lake in last 30 years. The results show that: (1) the land use type of the buffer zone of Poyang Lake has gradually formed a pattern in which the cultivated land was dominant and the proportion of major land types such as forestland, grass land, water area and construction land were relatively balanced. During this period, the cultivated land area increased significantly, with an increase of 21.48%. The area of construction land and forestland increased by 542.90% and 326.23%, respectively; the cultivated land, water area and grassland were the main sources of their area increase. Grass land area showed a significant decrease of 66.79%, which was mainly transformed into forestland, cultivated land and water area. Water area and unused land decreased slightly. In the study area, the dynamic degree of comprehensive land use in Nanchang County was 1.81%, which was higher than that in other 11 districts and counties, showing that Nanchang County witnessed a bigger change in land use. (2) In recent 30 years, the ecosystem service value in the buffer zone of Poyang Lake generally showed a trend of increase first and then decrease, with a total loss of 2.554 billion yuan and a total decrease of 24.18%. At the same time, changes in different types of ESV were similar to that of land use. Hydrological regulation, which plays a vital role in ecological service function in study area, occupied 66.03% of the total ESV. (3) Water area and grass land contributed the most to ESV changes and were the main influencing factors of ESV changes in the buffer zone of Poyang Lake. The decrease of water area mainly explains the decline of ESV in the buffer zone. In general, restoration and protection of water area and grass land in the buffer zone of Poyang Lake is of great significance in maintaining the biodiversity and service function of its own ecosystem, and is also crucial for protecting the ecological environment of the surrounding area and even the middle and lower reaches of the Yangtze River.

Key Words: buffer zone; land use changes; ecosystem service value; Poyang Lake

土地作为人类生存和发展的基础,为人类创造了大量的生态系统服务价值(Ecosystem services value, ESV),包括了供给价值(食物、原材料和水资源)、调节价值(净化环境、气体、气候、和水文调节)、支持价值(土壤保持、养分循环和生物多样性)和文化价值(美学景观)^[1-2]。随着人口的增长、城镇化的推进和社会经济的发展,土地利用在发生着剧烈变化。土地利用/覆盖变化(Land use and land cover change, LUCC)是人类开发自然资源、改变生态系统结构和社会环境等的直观体现^[3-5],作为ESV变化的主要影响因素之一,研究其影响下的区域ESV变化对指导修复和保护生态系统服务功能具有重要意义;同时,基于土地利用变化的生态系统服务价值估算是最直接的办法^[6],因而受到国内外学者的广泛关注^[7-10]。

20世纪末,由于自然资产交易的日益活跃,经济社会对生态系统服务价值的估算方法表现出了迫切的需求^[11]。1997年Costanza等^[12]首先提出了生态系统服务价值估算原理及方法,此后该方法在世界范围内被迅速应用于估算各类生态系统的服务价值。发展至今,对于ESV的估算方法主要有基于单位服务功能价格的功能价值法和基于单位面积价值的当量因子法。功能价值法可以通过建立某一种服务功能与局部生态环境变量之间的生产方程的方法,模拟计算得到区域内的生态系统服务价值^[13-14];当量因子法则基于可量化的标准的方法,构建不同类型生态系统的各种服务功能价值当量,并结合该生态系统的面积大小进行生态系统服务价值评估^[11-12]。当量因子法相比于功能价值法具有更直观易用、数据需求少的特点,适用于区域和全球尺度生态系统服务价值的评估^[15-16],因此也得到了学界的广泛认可。与此同时,谢高地等^[2]在Costanza等^[11]的研究基础上结合我国生态系统服务的实际情况,制定了“中国陆地生态系统服务价值当量因子表”,为我国生态系统服务价值的动态评估提供相对全面、客观的评估方法,在国内得到了广泛应用。

鄱阳湖滨岸缓冲带丰富的生态景观资源产出了大量的食物、原材料、水和旅游等资源;作为湖泊生态系统的重要组成部分,缓冲带是减轻湖泊受流域内人类活动或自然过程破坏和干扰的屏障^[17],而宽度为2000 m的缓冲带较其他宽度的缓冲带对维持湖泊水质、生态系统的稳定具有更重要的作用^[18-19],这也是本文将2000 m缓冲带定为研究区域的重要原因。随着时间的推移,人类活动和自然过程都对鄱阳湖滨岸缓冲带产生了深远的影响,其土地利用格局也发生了明显的变化,而滨岸缓冲带的健康发展对鄱阳湖生态系统、周边乃

至整个长江中下游地区的生态环境健康及社会经济发展都影响重大,对其开展土地利用变化及生态系统服务价值研究具有重要意义。以往的研究多关注于整个鄱阳湖湖区或其流域内的部分区域^[20-23],关于滨岸缓冲带土地利用变化及生态系统服务价值研究尚未开展。因此,本文基于遥感影像数据,采用土地利用相关分析法、ESV 当量因子法分析了近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用变化及生态系统服务价值,以为鄱阳湖生态大保护、环境功能区划和生态经济核算等综合管理决策提供一定参考依据。

1 研究区域概况

鄱阳湖(28°10′—29°41′ N, 115°31′—117°4′ E)位于江西省北部,长江中下游南岸,是中国第一大淡水湖,也是我国长江中下游地区重要的生态屏障。其承接赣、抚、信、饶、修五大河流的来水,并最终汇入长江,是典型的过水性吞吐型湖泊^[20, 24]。鄱阳湖属于温暖湿润的亚热带季风气候,年均气温 16.5—17.8℃,年均降雨量 1570 mm,具有雨热同期、四季分明的气候特点^[25]。本研究中的鄱阳湖主湖体是水位 21.71 m(湖口,吴淞基面)时的通江水体面积的范围^[26];以鄱阳湖主湖体的水面范围为基准,在 ArcGIS 中建立 2000 m 缓冲带,从而确定为本文的研究区(即“鄱阳湖滨岸缓冲带”,图 1)。

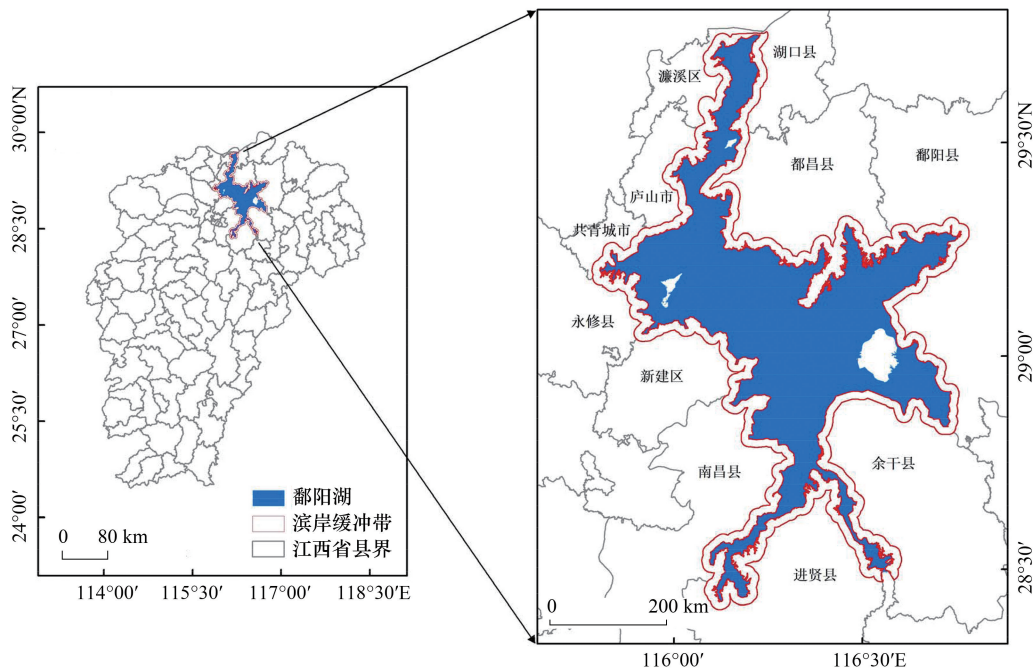


图 1 鄱阳湖滨岸缓冲带地理位置

Fig.1 The location of the buffer zone of Poyang Lake

2 数据与方法

2.1 数据来源与预处理

本研究选取 1988、1993、1999、2004、2009、2014、2018 年 7 期 Landsat 系列卫星遥感影像,影像数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)和美国地质调查局官网(<http://www.usgs.gov/>)。为保证研究内容的准确性,选择的遥感影像对应时间段为 10—11 月份,且云覆盖量均小于 10%。所有影像均覆盖整个研究区域,经过辐射校正和几何校正、裁剪等数据预处理步骤^[27-28]。

根据中国科学院土地利用覆盖分类体系,结合研究区实际情况建立耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 个地类。采用支持向量机法(SVM)对研究区进行监督分类,首先根据 6 个地类定义对应的 6 种训练

样本,对研究区遥感影像进行目视解译;其次对样本类间可分离性进行检验,参数值大于 1.9 即说明分离性好,属合格样本;最后采用 SVM 法执行分类过程,7 期数据的分类总体精度均高于 92%。依此法进行土地利用信息提取并结合人工判读,最终获得 1988 年、1993 年、1999 年、2004 年、2009 年、2014 年和 2018 年共 7 期土地利用分类结果^[29-31]。

2.2 研究方法

2.2.1 土地利用动态度

(1) 单一土地利用动态度

单一土地利用动态度表示研究区在一定时间范围内某种土地利用类型的数量变化情况,可以反映不同土地利用变化的剧烈程度^[32]。计算公式为:

$$K = \frac{U_2 - U_1}{U_1} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中, K 表示在 $t_2 - t_1$ 时期内某一土地利用类型的动态度; U_1 表示区域内该地类的初始面积; U_2 为该地类的监测期面积; $U_2 - U_1$ 为研究时段内该地类面积的变化; $t_2 - t_1$ 表示研究时段长度。

(2) 综合土地利用动态度

综合土地利用动态度能反映研究区土地利用类型在整个研究时段内的总体变化程度。计算公式为^[33]:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_{ij}}{2 \sum_{i=1}^n \Delta A_{(i,t_1)}} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \times 100\% \quad (2)$$

式中, C 表示在 $t_2 - t_1$ 时期内的综合土地利用动态度; ΔV_{ij} 表示 $t_2 - t_1$ 时段内第 i 类土地转变为非 i 类土地的绝对值; $A_{(i,t_1)}$ 为区域内第 i 类土地类型在监测初始阶段 t_1 时期的面积; $t_2 - t_1$ 表示研究时段长度。

2.2.2 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵是描述土地利用类型之间转变的一种分析方法^[34],它能够具体反映土地利用变化的结构特征和各地类之间的转移方向。通过将不同时期鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用图在 ArcGIS 中进行空间叠加,对叠加生成的土地利用变化图进行统计分析,得到土地利用转移矩阵,从而确定土地利用相互转变的状况和数量。

2.2.3 生态系统服务价值估算

基于 Costanza 等^[12]和谢高地等^[2, 11]所采用的单位面积价值当量因子法,以及谢高地等^[2, 11]认为的中国生态系统的单位面积生态系统服务价值当量计算应将农田破坏生产的生态系统服务价值当量设定为 1,然后确定生态系统提供的其他生态服务的价值。因此,我们根据一个生态系统服务价值当量因子的经济价值量等于当年平均粮食单产市场价值 1/7 的规则^[6],参考研究选取的时间段内江西省统计年鉴中粮食平均单位面积产量 (5270.67 kg/hm^2)^[35]和同期中国粮食平均单位面积产量 (4051.11 kg/hm^2)^[36]得到的修正系数^[37],并基于江西省 2018 年的平均粮食单价计算得到了生态服务价值当量因子 (P) 为 $2436.47 \text{ 元 hm}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。计算公式如下:

$$P = \frac{1}{7} k \cdot b \cdot c \quad (3)$$

式中, P 为土地利用类型单位面积的生态系统服务价值当量因子; k 代表修正系数; b 表示单位面积的粮食产量; c 为江西省 2018 年的平均粮食单价。

结合鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用的实际情况和本研究的开展情况,通过询问专家的方式对谢高地等^[2]制定的价值系数表中的一、二级分类进行了适当合并修正,结合当量因子 P 得到价值系数(表 1)。生态系统服务价值和单项生态系统服务价值 (ESV_i) 计算公式如下:

$$ESV = \sum_{i=1}^n (A_i \times V C_i) \quad (4)$$

$$ESV_f = \sum_{i=1}^n (A_i \times VC_{fi}) \quad (5)$$

式中, ESV 为生态系统服务价值(元/a); i 为土地利用类型($i = 1, 2, 3, \dots, n$), A_i 为地类 i 的面积(hm^2); VC_i 为地类 i 的生态系统服务功能价值系数(元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$); ESV_f 为生态系统第 f 项服务功能价值(元/a); VC_{fi} 为地类 i 的第 f 项生态系统服务功能价值系数(元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)。

表 1 鄱阳湖滨岸缓冲带各地类单位面积生态系统服务价值系数/(元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$)

Table 1 Coefficient for evaluation of ecosystem service-function values within the buffer zone of Poyang Lake

一级服务 First service	二级服务 Second service	耕地 Farmland	林地 Forestland	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
供给服务 Provision of service	食物生产	2692.30	615.21	730.94	1949.18	0	0
	原料生产	596.94	1413.15	1084.23	560.39	0	0
	水资源供给	-3179.59	730.94	596.94	20198.34	0	0
调节服务 Regulation service	气体调节	2168.46	4647.57	3788.71	1876.08	0	48.73
	气候调节	1132.96	13906.15	10026.07	5579.52	0	0
	净化环境	328.92	4075.00	3313.60	13522.41	0	243.65
支持服务 Support service	水文调节	3642.52	9100.22	7345.96	249104.69	0	73.09
	土壤保持	1266.96	5658.70	4617.11	2265.92	0	48.73
	维持养分循环	377.65	432.47	353.29	170.55	0	0
文化服务 Cultural service	生物多样性	414.20	5153.13	4202.91	6213.00	0	48.73
	美学景观	182.74	2259.83	1851.72	4604.93	0	24.36

2.2.4 生态贡献率

生态贡献率表征在一定时间段内不同土地利用类型 ESV 变化量对总 ESV 变化量的影响大小,用来揭示影响区域 ESV 变化的主要贡献因子^[38]。

$$G_{it} = \frac{|\Delta ESV_{it}|}{\sum_{i=1}^6 |\Delta ESV_{it}|} \times 100\% \quad (6)$$

式中, G_{it} 表示地类 i 在时间段 t 内的生态贡献率; ΔESV_{it} 为地类 i 在时间段 t 内的 ESV 变化量。

3 结果与分析

3.1 土地利用变化总体特征

从各土地利用类型面积和占比变化看(图 2—4), 1988 年滨岸缓冲带土地利用类型以耕地和草地为主, 二者占研究区总面积的 77%; 水域次之, 占比为 13%。1993 年以耕地和水域为主, 面积占比分别为 67.02% 和 16.14%; 其次是草地面积占比 8.27%; 与 1988 年相比, 草地面积出现显著减少, 减少幅度达 75.68%, 耕地面积占比增加了 55.21%, 水域面积占比变化平稳。1999 年滨岸缓冲带内以耕地和草地为主, 面积占比分别为 41%、33%, 水域面积占比 16%; 较 1993 年耕地和草地面积占比变化幅度较大, 分别为 -38.42% 和 292.97%, 其他地类变化幅度均较小。2004 年缓冲带耕地面积占比 62%; 林地面积占比增加明显, 达到 15%; 其次为水域, 面积占比 13%; 草地面积占比仅为 6%, 较 1999 年出现显著减少。2004—2018 年, 土地利用类型以耕地为主, 面积占比大于 50%; 建设用地、未利用地和草地面积占比增加幅度较大, 分别为 306.89%、190.63% 和 77.24%。

总体而言, 1988—1999 年, 各地类变化幅度相对较小, 林地面积明显增加 63.60%; 1999—2009 年, 土地利用变化明显, 林地、建设用地和耕地面积显著增加 200.91%、187.94% 和 42.27%, 草地和水域面积明显减少 92.27% 和 40.67%; 2009—2018 年, 草地和建设用地面积出现显著增加, 幅度为 349.11% 和 89.32%。近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用类型以耕地为主,

草地面积占比降幅较大, 建设用地和林地面积占比显著增加, 水域和未利用地面积占比出现小幅下降。

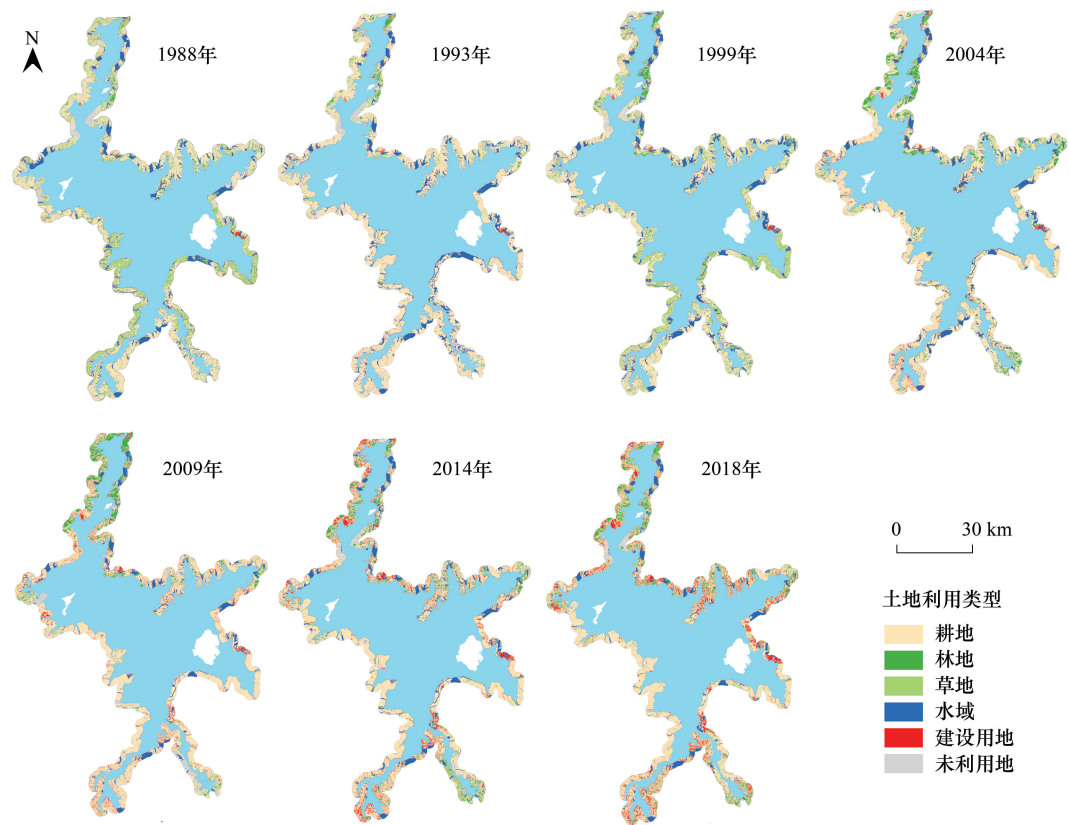


图2 1988—2018 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用空间格局

Fig.2 Spatial patterns of LUCC of the buffer zone of Poyang Lake from 1988 to 2018

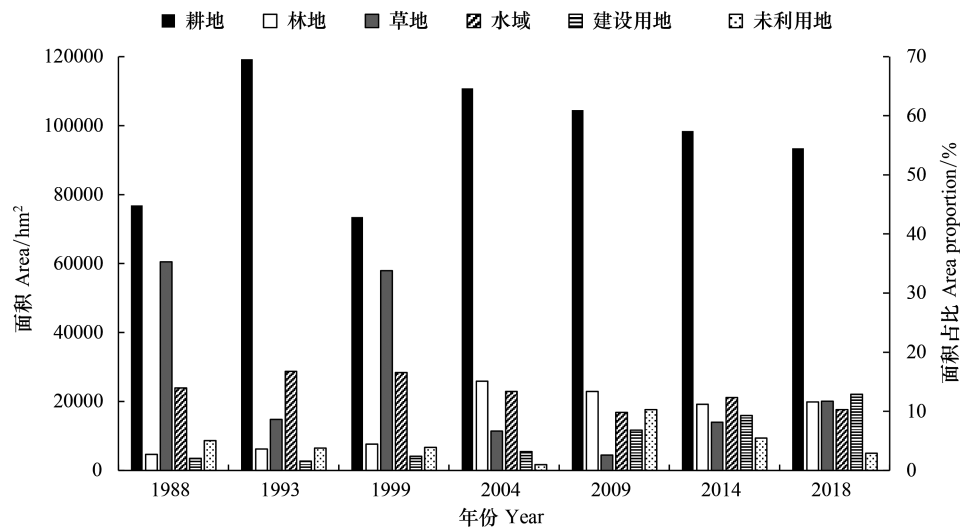


图3 1988—2018 鄱阳湖滨岸缓冲带各土地利用类型面积及占比

Fig.3 Area and proportion of each land use type in the buffer zone of Poyang Lake from 1988 to 2018

研究区逐渐形成了以耕地占主导地位、其他主要地类面积占比相对均衡的格局。

根据土地利用转移矩阵分析的结果(图5),1988—2018 年耕地面积转出 155401.70 hm²,为转出面积最多的土地利用类型,其中 47.84%转为草地,18.50%转为建设用地;与此同时,耕地也是转入面积最多的土地利用

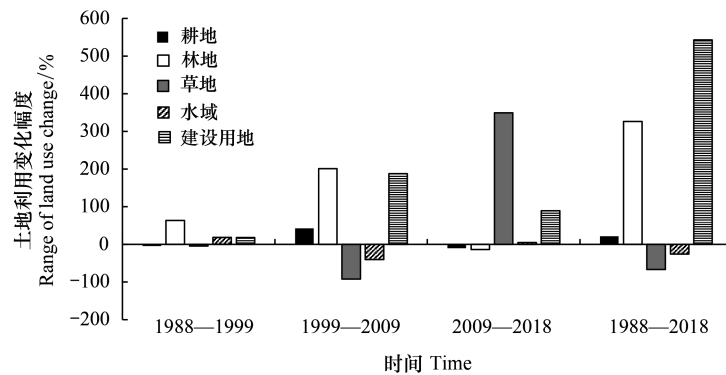


图 4 1988—2018 年鄱阳湖滨岸缓冲带各土地利用变化幅度

Fig.4 Amplitude of changes in land use of the buffer zone of Poyang Lake from 1988 to 2018

类型,共计转入 171906.60 hm^2 ,草地是其转入面积的主要来源,占比 59.96%。草地为另一主要转出面积的地类,共计转出 140696.58 hm^2 ,其中 73.25%转为耕地,其次是林地(15.03%);同时,草地也是另一主要转入面积的地类,转入面积主要来源于耕地和未利用地,分别为 74338.49 hm^2 和 13407.85 hm^2 。建设用地 1988—2018 年共计转入 38346.37 hm^2 ,转出 19691.54 hm^2 ,其中转入面积 74.96%来自于耕地,转出面积的主要去向也是耕地,面积达到 10869.05 hm^2 。总体而言,近 30 年来鄱阳湖环湖区草地、水域和未利用地类型以转出为主;耕地、建设用地、林地类型以转入为主。

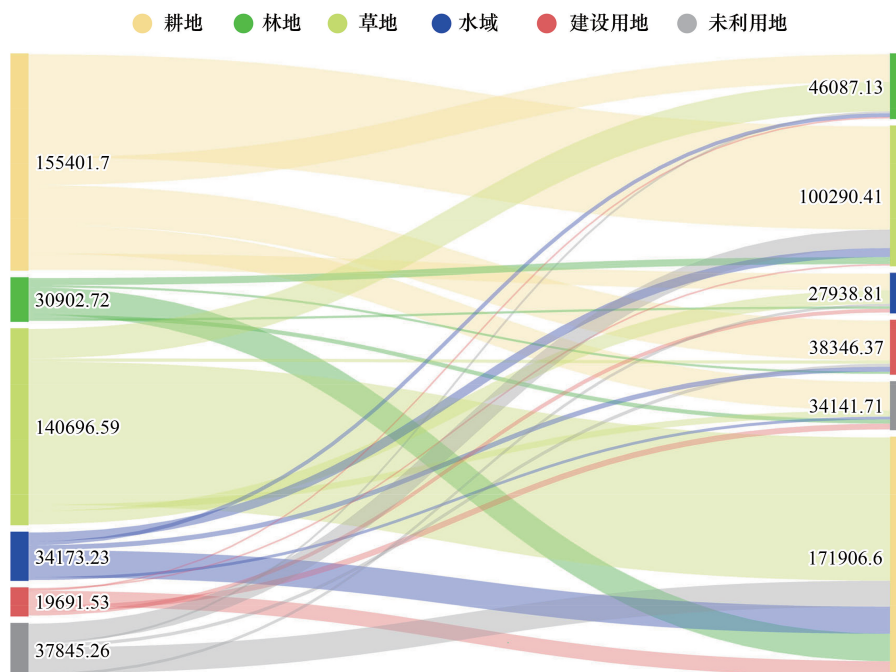
图 5 1988—2018 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用转移矩阵桑基图/ hm^2

Fig.5 Sankey map of land use transfer matrix of the buffer zone of Poyang Lake from 1988 to 2018

3.2 土地利用区域变化特征

分析研究区内各区(县)范围不同地类面积变化情况结果表明(表 2),1988—2018 年,研究区内各区(县)建设用地面积均呈现不同程度增加,其中都昌县增加最多,共计 4650.67 hm^2 ,其次是进贤县(3971.68 hm^2);进贤县面积增加速度最快,动态度达到 48.88%。各区(县)范围内耕地面积增加最大的是南昌县,面积达

10562.77 hm², 其次是余干县 (5461.25 hm²); 面积减少最大的是进贤县 (4310.29 hm²); 动态度最大的是南昌县, 达到 6.08%, 其次是永修县 (2.66%), 都昌县和共青城市动态度最小, 仅为 0.44% 和 0.22%。各区 (县) 范围内水域和草地面积均呈现减少趋势, 其中水域面积减少最大的是都昌县, 减少面积为 1304.64 hm²; 草地面积减少最大的是南昌县, 达到 9934.47 hm²。各区 (县) 范围内林地面积变化除南昌县林地面积减少 148.29 hm² 外, 其他各区 (县) 均呈现出增长的趋势, 其中面积增长最大的是都昌县, 达到 3215.06 hm²。各区 (县) 范围内未利用地面积除庐山市增加 131.69 hm² 外其他各区 (县) 均出现一定减少, 其中鄱阳县面积减少最大, 为 1283.52 hm²; 鄱阳县、永修县、湖口县减少速度最快, 动态度均大于 3%, 进贤县动态度仅为 0.17%。

表 2 1988—2018 年鄱阳湖滨岸缓冲带各区 (县) 范围内各地类面积变化及综合土地利用变化动态度

Table 2 Area change of various land use types and comprehensive land use changes dynamics degree within each district (counties) in the buffer zone of Poyang Lake from 1988 to 2018

区 (县) Districts and counties	耕地 Farmland/ hm ²	林地 Forestland/ hm ²	草地 Grassland/ hm ²	水域 Water area/ hm ²	建设用地 Construction land/hm ²	未利用地 Unused land/ hm ²	综合动态度 Comprehensive dynamic degree/%
余干县	5461.25	2043.48	-8001.23	-1017.04	1705.99	-192.45	1.41
永修县	1981.83	201.13	-999.43	-144.04	58.23	-1097.72	1.32
新建区	4245.59	123.25	-3450.49	-919.06	223.27	-222.56	1.24
鄱阳县	3761.67	1757.98	-6511.84	-515.32	2791.04	-1283.52	1.19
南昌县	10562.77	-148.29	-9934.47	-970.97	571.67	-80.71	1.81
庐山市	-2014.94	1785.37	-1895.49	-12.68	2006.06	131.69	1.14
濂溪区	-1000.31	1904.55	-2237.40	-93.25	1497.10	-70.67	1.06
进贤县	-4310.29	2814.89	-2300.92	-145.59	3971.68	-29.77	0.91
湖口县	-502.78	1024.48	-498.24	-93.66	350.22	-280.03	0.64
共青城市	221.90	462.49	-364.41	-1017.53	828.73	-131.18	0.70
都昌县	-1902.66	3215.06	-4212.42	-1304.64	4650.67	-445.99	0.80

表格中“区 (县)”均代表各区 (县) 在鄱阳湖 2000 m 缓冲带内的部分县域范围, 而非全域范围

研究区域内, 南昌县的综合土地利用动态度最大, 达 1.81%; 其次是余干县、永修县、新建区、鄱阳县、庐山市和濂溪区, 综合土地利用动态度均大于 1%; 进贤县、湖口县、共青城市和都昌县的综合土地利用动态度较低均小于 1%, 其中湖口县综合土地利用动态度仅为 0.64%, 这综合反映了南昌县的土地利用变化幅度相较于其他区 (县) 出现了更剧烈的变化, 而湖口县的土地利用变化相对比较缓和的特点。

3.3 生态系统服务价值变化特征

鄱阳湖滨岸缓冲带 ESV 计算结果显示 (表 3), 1988—2018 年研究区 ESV 呈现先上升后下降再上升的趋势, 共损失 23.87 亿元。从 ESV 总体组成来看, 各土地利用类型的 ESV 中水域 ESV 占比最大, 1988—2018 年占比均超过了 65%; 其次是林地和耕地, 1988—2018 年二者多年平均占比均为 9.99%。从 ESV 变化来看, 1988—1999 年 ESV 呈现持续增加的趋势, 从 105.93 亿元增加至 119.71 亿元, 主要由于水域和林地 ESV 增加了 13.63 和 1.42 亿元, 其他地类 ESV 均出现小幅减小; 1999—2009 年 ESV 出现显著下降, 从 119.71 亿元减少至 75.29 亿元, 其中水域和草地 ESV 分别从 86.65 亿元、21.94 亿元下降至 54.40 亿元、5.30 亿元, 降幅达到 37.22% 和 75.84%; 2009—2018 年 ESV 呈现小幅增加后又下降的趋势, 总 ESV 增加 6.78 亿元, 主要由于草地和水域 ESV 出现了一定增加, 分别增加 5.92 亿元和 2.54 亿元, 林地 ESV 减少 1.48 亿元。总体而言, 虽然 1988—2018 年林地 ESV 出现了 326.23% 的显著幅度, 作为主要土地利用类型的耕地的 ESV 也出现了 21.48% 的增加, 但是由于未利用地、水域和草地 ESV 分别减少了 42.72%、26.13% 和 66.79%, 其中水域 ESV 更是减少了近 20 亿元, 综合导致了该区域 1988—2018 年总 ESV 呈现了减少的现状, 且该研究区域的 ESV 在变化趋势上与土地利用变化的趋势 (图 4) 保持着一致。

表 3 1988—2018 年鄱阳湖滨岸缓冲带各地类 ESV 变化

Table 3 Changes of ecosystem service value in land use types in the buffer zone of Poyang Lake from 1988 to 2018

土地利用类型 Land use type	生态系统服务价值 Ecosystem service value/100 million yuan							变化幅度 Change range/%
	1988 年	1993 年	1999 年	2004 年	2009 年	2014 年	2018 年	1988—2018 年
耕地 Farmland	7.40	11.48	7.07	10.66	10.06	9.47	8.98	21.48
林地 Forestland	2.23	2.95	3.65	12.40	11.00	9.17	9.52	326.23
草地 Grassland	22.94	5.58	21.94	4.30	1.70	5.30	7.62	-66.79
水域 Water area	73.02	87.90	86.65	70.02	51.40	64.57	53.94	-26.13
建设用地 Construction land	0	0	0	0	0	0	0	0
未利用地 Unused land	0.04	0.03	0.03	0.01	0.09	0.05	0.02	-42.72
总计 Total values	105.63	107.94	119.34	97.39	74.24	88.56	80.09	-24.18

从生态系统服务价值构成上分析,1988—2018 年水文调节、气候调节就、净化环境、气体调节和生物多样性是研究区最主要的生态系统服务功能。对比 1988—2018 年缓冲带四类一级 ESV 与总 ESV 的变化趋势(表 3、4)结果表明,四类一级 ESV 与总 ESV 一样总体也呈现出先上升后下降再上升的变化趋势。其中,ESV 占比最大的一级生态系统服务为调节服务,1988—2018 年各年占比均超过 80%,而在调节服务中又以水文调节服务价值最高,各年水文调节 ESV 均超过了 48 亿元,各年占比均为 80%左右,平均占比达到了 79.49%,这也喻示了生态系统对自然界中水的各种运动变化所发挥的影响和作用之大。因而在调节服务占总 ESV 比例较高的情况下,调节服务所包含的四类二级服务功能均出现 20%左右的降幅可能是总 ESV 总体出现下降的重要原因。与此同时,在各年份的生态系统二级服务功能中,水资源供给服务价值出现了最大的下降,减幅达到了 69.08%,其次是生物多样性和净化环境服务价值,减幅分别为 26.96%和 26.65%;1988—2018 年仅食物生产服务价值出现了 4.02%的上升,综合导致了总 ESV 出现下降的状况。

表 4 1988—2018 年鄱阳湖滨岸缓冲带生态系统一级和二级服务价值变化

Table 4 Changes of ecosystem primary and secondary service value in the buffer zone of Poyang Lake from 1988 to 2018

一级服务 First service	二级服务 Second service	生态系统服务价值 Ecosystem service value/100 million yuan							变化幅度 Change range/%
		1988 年	1993 年	1999 年	2004 年	2009 年	2014 年	2018 年	1988—2018 年
供给服务 Provision of service	食物生产	3.00	3.92	3.00	3.67	3.31	3.28	3.13	4.02
	原料生产	1.31	1.12	1.33	1.28	1.09	1.13	1.15	-12.17
	水资源供给	2.77	2.14	3.78	1.36	0.26	1.35	0.86	-69.08
调节服务 Regulation service	气体调节	4.63	3.99	4.67	4.46	3.82	3.95	4.04	-12.67
	气候调节	8.91	5.33	9.27	7.26	5.76	6.35	6.81	-23.56
	净化环境	5.69	5.04	6.32	4.89	3.74	4.44	4.18	-26.65
支持服务 Support service	水文调节	67.11	77.56	78.15	64.21	48.07	58.92	50.59	-24.61
	土壤保持	4.58	3.21	4.68	3.91	3.22	3.46	3.63	-20.55
	维持养分循环	0.56	0.58	0.56	0.61	0.54	0.54	0.54	-4.50
文化服务 Cultural service	生物多样性	4.59	3.23	4.89	3.69	2.85	3.30	3.35	-26.96
	美学景观	2.47	1.96	2.68	2.05	1.57	1.84	1.80	-26.87

3.4 土地利用类型 ESV 变化的贡献率

分析不同土地利用类型 ESV 变化的贡献率(表 5)结果表明,1988—2018 年鄱阳湖滨岸缓冲带内水域和草地的生态贡献率最大,贡献率分别为 44.07%和 35.39%,两者的 ESV 变化对总 ESV 变化的贡献率之和接近 80%。其中,1988—1999 年和 1999—2009 年研究区内不同土地利用类型 ESV 变化的贡献率整体相似,均表现为水域的生态贡献率超过了 50%,其中 1988—1999 年水域的贡献率高达 83.16%,1999—2009 年水域的贡献率为 52.79%,其次是草地和林地,贡献率分别为 30.73%和 11.15%;1999—2009 年草地的生态贡献率表现

较为突出,达到了 30.73%,较 1988—1999 年的生态贡献率出现了较大幅度的增长;2009—2018 年不同土地利用类型 ESV 变化的贡献率与 1988—1999 年和 1999—2009 年的差异较大,水域对 ESV 变化的贡献率仅为 22.91%,而草地的贡献率达到了 53.49%,这与这一时间段内草地面积出现了显著增长而水域面积出现一定程度较少具有一定关系,与此同时,2009—2018 年林地的贡献率也出现了小幅的增长,由 1988—1999 年的 8.67%增长到 2009—2018 年的 13.33%。

综合 1988—1999 年、1999—2009 年、2009—2018 年和 1988—2018 年各土地利用类型 ESV 变化的贡献率分析来看,水域和草地对 ESV 变化表现出了最大的贡献率,其他地类中除林地的贡献率为 16.83%外,耕地和未利用地的贡献率仅为 3.67%和 0.04%,这一结果说明近 30 年水域和草地的 ESV 变化是鄱阳湖滨岸缓冲带 ESV 变化的主要影响因素,两者土地利用面积的变化深刻地影响着该区域的生态系统服务功能。

表 5 1988—2018 年鄱阳湖滨岸缓冲带不同地类生态系统服务价值变化的贡献率/%

Table 5 Contribution rate of ESV changes of different land use types in the buffer zone of Poyang Lake from 1988 to 2018

时间 Time	耕地 Farmland	林地 Forestland	草地 Grassland	水域 Water area	建设用地 Construction land	未利用地 Unused land
1988—1999	2.00	8.67	6.09	83.16	0	0.06
1999—2009	4.54	11.15	30.73	53.51	0	0.08
2009—2018	9.69	13.33	53.49	22.91	0	0.56
1988—2018	3.67	16.83	35.39	44.07	0	0.04

4 结论与讨论

4.1 讨论

4.1.1 土地利用变化

近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带的土地利用类型以耕地为主,耕地、建设用地和林地面积都出现了显著增加,三者面积占研究区总面积比例分别增加了 10%、10%和 8%;草地面积则出现显著减少,面积占比减少了 23%。分析主要可能是受人口增长、社会经济的不断发展以及区域资源开发利用强度加剧等因素的影响导致^[39]。庐山市、都昌县和鄱阳县在缓冲带内的部分城区不断扩张,政府部门对缓冲带内自然生态景观的旅游开发(包括地面硬化、道路修建、建筑物建设等),以及在新农村建设中缓冲带内居民倾向于修建更大占地面积的楼房、“家庭作坊”等,都是导致建设用地面积不断增加的具体原因。同时,由于鄱阳湖“高水是湖,低水似河”的水文特点和频繁出现的洪涝干旱灾害,也在深刻地影响着缓冲带土地利用的结构和方式^[40]。研究结果中,1999 年滨岸缓冲带的耕地明显减少、草地显著增加,大量耕地面积转入草地面积中,这很大程度上与 1998 年长江发生全流域性洪涝灾害有关,洪灾过后的社会经济陷入萎靡状态,难以快速恢复至灾前水平,因而耕地被大量抛荒进而发展成为草地;除此之外,1999 年相对 1993 年的建设用地出现了 54.03%的增长,林地也增长了 23.79%,这可能与先期制定的“山江湖”工程及 1998 年洪涝灾害过后国务院制订的“平垸行洪、退田还湖、移民建镇”等一系列政策方针具有一定关联;本着“治湖必须治江、治江必须治山、治山必须治穷”的治理理念,在治穷、治山、治江、治湖的过程中增加了更多的林地面积,这与 1988—2018 年间林地面积的总体持续增加的变化趋势保持着一致;同时,鄱阳湖 2000 m 缓冲带内的主要地形地貌为河道、湖汊、和洲滩,农业生产条件较好、渔业资源丰富,可以满足生产生活的需要,在政策的推动下即在众多的河道、汊港、洲滩之间修筑了大量的圩堤,在相应高程之上修建了更多的房屋、道路、农业配套设施等建设用地,这进一步推动了往后时间内滨岸缓冲带土地利用格局的演变^[41—42]。进入 21 世纪,由于 2004 年、2009 年鄱阳湖沿湖流域发生了不同程度的旱灾^[43—44],影响了这一时期水域和草地的面积变化和土地利用总体格局;另一方面,由于这一时期的新农村建设、旅游区开发、城镇化等项目陆续落地环鄱阳湖地区,2009 年鄱阳湖生态经济区上升为国家战略,滨岸缓冲带建设用地进一步扩张,虽然在生态文明建设等思想的指导下^[45],有部分建设用地转入到其他

地类中,但也还是难以扭转 2009—2018 年建设用地面积增加幅度达到 89.32%的这一现状。

4.1.2 生态系统服务价值变化

“一个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年平均粮食单产市场价值的 1/7”的规则已被较多学者认可和引用^[46—47],本文在基于该规则的前提下针对历史粮食单位产量、粮食不变价格的确定和鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用的实际情况对其进行了修正,同时增加了由江西省 1991—2018 年统计年鉴中历年粮食平均单位面积产量和同期中国粮食平均单位面积产量得到的修正系数对当量系数进行了修正^[37],使得所得到的当量系数能更好地契合计算历史时期鄱阳湖滨岸缓冲带的生态系统服务价值,使评估过程和结果都更具科学性。鄱阳湖滨岸缓冲带生态系统服务价值从 105.63 亿元减至 80.09 亿元,总损失 25.54 亿元,水域和草地对缓冲带 ESV 变化表现出了最大的贡献率,而水域和草地的 ESV 出现显著的减少(分别减少 19.08 亿元和 15.32 亿元)是导致总 ESV 下降的重要原因,根据图 5 我们也可看出是由于水域和草地大量转为耕地导致了这一结果。水文调节、气候调节就、净化环境、气体调节和生物多样性作为研究区最主要的生态系统服务功能,而 1988—2018 年水资源供给服务、生物多样性和净化环境价值出现较大幅度的减少,仅食物生产服务价值有一定上升,分析出现这一现象可能的原因是研究区内水域和草地转入耕地和林地中,导致耕地和林地面积明显增加而水域和草地面积显著减少,这与涂小松等对鄱阳湖地区的研究结果一致^[23]。4.1 章节中分析了 1998 年洪水过后草地面积大量增加导致了 1999 年草地 ESV 也出现了相应的增加;针对 2004 年和 2009 年草地、水域 ESV 大量减少,分析可能的原因是 2004 年、2009 年鄱阳湖流域发生不同程度的旱灾^[43—44]导致的草地和水域面积出现大量缩减,进而影响了当年草地和水域的 ESV,尤其是 2009 年草地 ESV 仅为 1.70 亿元,水域 ESV 较 2004 年减少近 20 亿元。同时,在将本文得出的结果同其他相关基于当量因子法评估生态系统服务价值的研究对比后,我们发现当量因子法评估生态系统服务价值时较为依赖评估的当量系数,而不同的评估方法可能会造成较大的结果差异^[48],即除了面积变化会影响生态系统服务价值外,当量系数的修正和确定对生态系统服务价值的影响也是巨大的。本研究中,水域以小于 17%的面积占比贡献了缓冲带超过 65%的 ESV,这说明了水域对滨岸缓冲带生态系统服务具有重要的价值意义,但也证明了当量系数对生态系统服务价值的影响巨大。

以往的经济发展与人口增长导致的粮食作物的种植与发展,往往都是以挤占水域水体的生态空间为代价^[49],这违背了进入新时代以来“绿水青山就是金山银山”和“山水林田湖草是生命共同体”的发展理念,也是环鄱阳湖地区生态环境保护和社会经济发展的重要障碍。1988—2018 年滨岸缓冲带内水域面积减少 6233.80 hm²(图 3),其中由水域转入的耕地面积占到水域总转出面积的 57.04%,水域面积下降是其整体 ESV 下降的主要原因。水域和草地面积的增加对环鄱阳湖地区的空气质量改善和水土保持起重要作用^[50—51],结合 4.1.1 章节中提到的 1999 年前后土地利用变化和 1999 年前后的生态系统服务价值变化分析,滨岸缓冲带内水域和草地面积的增加具有明显的生态效益,对鄱阳湖地区的经济发展和环境质量的改善具有重要的实际意义。

4.2 结论

(1) 近 30 年鄱阳湖滨岸缓冲带土地利用类型逐渐形成了以耕地为主导,林地、草地、水域、建设用地等主要地类占比相对均衡的格局。耕地面积明显增加,增幅为 21.48%;建设用地和林地面积增加幅度分别为 542.90%和 326.23%,耕地、水域、草地是两者面积增加的主要来源;草地面积下降幅度为 66.79%,主要转变为林地、耕地和水域;水域和未利用地面积出现小幅减少。研究区域内,南昌县综合土地利用动态度以 1.81%明显高于其他 11 个区(县),土地利用较其他区(县)出现较大变化。

(2) 鄱阳湖滨岸缓冲带最主要的生态服务功能是水文调节,其 ESV 占总 ESV 的 66.03%。1988—2018 年,研究区 ESV 共损失 25.54 亿元,下降幅度为 24.18%。各土地利用类型 ESV 中,林地 ESV 增幅为 326.23%;草地 ESV 下降幅度为 66.79%;水域 ESV 减少 19.08 亿元,下降幅度为 26.13%。四类一级 ESV 与总 ESV 均呈现先上升后下降的趋势;二级 ESV 中水资源供给服务、生物多样性、净化环境和美学景观服务价值均出现显

著减少,仅食物生产服务价值有一定增加。

(3) 鄱阳湖滨岸缓冲带 ESV 变化的主要影响因素为水域和草地 ESV 的变化,二者对总 ESV 变化的贡献率分别为 44.07% 和 35.39%。水域以小于 17% 的面积占比贡献了缓冲带超过 65% 的 ESV,水域面积的减少是导致缓冲带 ESV 降低的主要原因。综上所述,本研究结果可为鄱阳湖生态大保护、环境功能区划和生态经济核算等综合管理决策提供一定参考依据,此外,对修复和保护滨岸缓冲带内的水域和草地以维持鄱阳湖生态系统生物多样性和服务功能具有重要意义。

参考文献(References):

- [1] Daily G C, Söderqvist T, Aniyar S, Arrow K, Dasgupta P, Ehrlich P R, Folke C, Jansson A, Jansson B O, Kautsky N, Levin S, Lubchenco J, Mäler K G, Simpson D, Starrett D, Tilman D, Walker B. The value of nature and the nature of value. *Science*, 2000, 289(5478): 395-396.
- [2] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [3] Kalnay E, Cai M. Impact of urbanization and land-use change on climate. *Nature*, 2003, 423(6939): 528-531.
- [4] Cumming G S, Buerkert A, Hoffmann E M, Schlecht E, von Cramon-Taubadel S, Tschamtk T. Implications of agricultural transitions and urbanization for ecosystem services. *Nature*, 2014, 515(7525): 50-57.
- [5] Fang C L, Liu H M, Li G D. International progress and evaluation on interactive coupling effects between urbanization and the eco-environment. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(8): 1081-1116.
- [6] 刘桂林, 张落成, 张倩. 长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响. *生态学报*, 2014, 34(12): 3311-3319.
- [7] 丁丽莲, 王奇, 陈欣, 唐建军. 近 30 年淀山湖地区生态系统服务价值对土地利用变化的响应. *生态学报*, 2019, 39(8): 2973-2985.
- [8] Li F, Zhang S W, Yang J C, Bu K, Wang Q, Tang J M, Chang L P. The effects of population density changes on ecosystem services value: a case study in Western Jilin, China. *Ecological Indicators*, 2016, 61: 328-337.
- [9] Aziz T. Changes in land use and ecosystem services values in Pakistan, 1950—2050. *Environmental Development*, 2021, 37: 100576.
- [10] 郭椿阳, 高尚, 周伯燕, 高建华. 基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究. *生态学报*, 2019, 39(10): 3482-3493.
- [11] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. *自然资源学报*, 2008, 23(5): 911-919.
- [12] Costanza R, &Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, &Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [13] Kareiva P, Marvier M. Conserving biodiversity coldspots. *American Scientist*, 2003, 91(4): 344.
- [14] Robertson G P, Swinton S M. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2005, 3(1): 38-46.
- [15] Costanza R, de Groot R, Sutton P, van der Ploeg S, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- [16] Wang W J, Guo H C, Chuai X W, Dai C, Lai L, Zhang M. The impact of land use change on the temporospatial variations of ecosystems services value in China and an optimized land use solution. *Environmental Science & Policy*, 2014, 44: 62-72.
- [17] 叶春, 李春华, 邓婷婷. 湖泊缓冲带功能、建设与管理. *环境科学研究*, 2013, 26(12): 1283-1289.
- [18] Liu X M, Zhang X Y, Zhang M H. Major factors influencing the efficacy of vegetated buffers on sediment trapping: a review and analysis. *Journal of Environmental Quality*, 2008, 37(5): 1667-1674.
- [19] Su, Z H, Lin C, Ma R H, Luo J H, & Liang Q O. Effect of land use change on lake water quality in different buffer zones. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2015, 13(3): 639-653.
- [20] 胡振鹏, 葛刚, 刘成林, 陈伏生, 李述. 鄱阳湖湿地植物生态系统结构及湖水位对其影响研究. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(6): 597-605.
- [21] Ye X C, Zhang Q, Liu J, Li X H, Xu C Y. Distinguishing the relative impacts of climate change and human activities on variation of streamflow in the Poyang Lake catchment, China. *Journal of Hydrology*, 2013, 494: 83-95.
- [22] 李兆喜, 高扬, 陆瑶, 贾璐杰, 王朔月, 马明真, 温学发. 鄱阳湖流域多尺度碳、硅输送特征及其对浮游植物分布的影响. *生态学报*, 2020, 40(19): 7073-7083.
- [23] 涂小松, 龙花楼. 2000—2010 年鄱阳湖地区生态系统服务价值空间格局及其动态演化. *资源科学*, 2015, 37(12): 2451-2460.
- [24] 万荣荣, 杨桂山, 王晓龙, 秦年秀, 戴雪. 长江中游通江湖泊江湖关系研究进展. *湖泊科学*, 2014, 26(1): 1-8.
- [25] 唐丹, 张展羽, 夏继红, 杨洁, 盛丽婷, 陈晓安. 鄱阳湖滨岸带对 N 素的净化及其影响因素. *水资源保护*, 2018, 34(3): 85-90, 110.

- [26] 周文斌, 王金保, 姜加虎. 鄱阳湖江湖水位变化对其生态系统影响. 北京: 科学出版社, 2011.
- [27] 祝佳. Landsat8 卫星遥感数据预处理方法. 国土资源遥感, 2016, 28(2): 21-27.
- [28] Zhu Z, Woodcock C E, Holden C, Yang Z Q. Generating synthetic Landsat images based on all available Landsat data: predicting Landsat surface reflectance at any given time. Remote Sensing of Environment, 2015, 162: 67-83.
- [29] 荆耀栋, 周淑琴, 吴发启, 张青峰. LANDSAT 数据在沙地动态监测中提取沙地信息的最佳波段组合研究. 中国农学通报, 2011, 27(17): 147-150.
- [30] 邓书斌, 陈秋锦, 杜会建. ENVI 遥感图像处理方法. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [31] 牟多铎, 刘磊. ELM 与 SVM 在高光谱遥感图像监督分类中的比较研究. 遥感技术与应用, 2019, 34(1): 115-124.
- [32] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论. 地理学报, 2003, 58(5): 643-650.
- [33] 王秀兰. 土地利用/土地覆盖变化中的人口因素分析. 资源科学, 2000, 22(3): 39-42.
- [34] 岳东霞, 杜军, 刘俊艳, 郭建军, 张佳静, 马金辉. 基于 RS 和转移矩阵的泾河流域生态承载力时空动态评价. 生态学报, 2011, 31(9): 2550-2558.
- [35] 江西省统计局编;国家统计局江西调查总队编. 江西统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- [36] 中华人民共和国国家统计局编. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2004.
- [37] Gu X C, Long A H, Liu G H, Yu J W, Wang H, Yang Y M, Zhang P. Changes in ecosystem service value in the 1 km lakeshore zone of Poyang lake from 1980 to 2020. Land, 2021, 10(9): 951.
- [38] 封建民, 郭玲霞. 陕西省神木县土地利用格局和生态服务价值变化. 水土保持通报, 2014, 34(6): 293-298.
- [39] 徐羽, 钟业喜, 冯兴华, 徐丽婷, 郑林. 鄱阳湖流域土地利用生态风险格局. 生态学报, 2016, 36(23): 7850-7857.
- [40] 孙芳蒂, 马荣华. 鄱阳湖水文特征动态变化遥感监测. 地理学报, 2020, 75(3): 544-557.
- [41] 饶胜, 方精云, 崔海亭, 雷光春. 最近 10 年鄱阳湖区土地利用格局的时空变化. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 421-426.
- [42] 蔡海生, 朱德海, 赵小敏. 1998 年前后鄱阳湖区土地利用变化分析. 中国农业大学学报, 2005, 10(6): 88-93.
- [43] 闵岫, 严蜜, 刘健. 鄱阳湖流域干旱气候特征研究. 湖泊科学, 2013, 25(1): 65-72.
- [44] 彭薇. 鄱阳湖枯水期水文特征分析及旱限水位研究[D]. 武汉: 长江科学院, 2015.
- [45] 钟业喜, 邵海雁, 徐晨璐, 冯兴华. 基于文献计量分析的流域山水林田湖草生命共同体研究进展与展望. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2020, 44(1): 95-101.
- [46] 秦艳丽, 时鹏, 何文虹, 霍春平, 李鹏, 李占斌, 杨殊桐, 冯朝红. 西安市城市化对景观格局及生态系统服务价值的影响. 生态学报, 2020, 40(22): 8239-8250.
- [47] 王庭辉, 王喜, 秦耀辰, 高攀, 王海楠. 丹江口库区生态系统服务价值与人类活动时空关联分析. 长江流域资源与环境, 2021, 30(2): 330-341.
- [48] 戚丽萍, 闫丹丹, 李静泰, 么秀颖, 薛媛媛, 栾兆擎. 江苏省生态系统服务价值对土地利用/土地覆盖变化的动态响应. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2021, 57(2): 255-264.
- [49] Atasoy M, Palmquist R B, Phaneuf D J. Estimating the effects of urban residential development on water quality using microdata. Journal of Environmental Management, 2006, 79(4): 399-408.
- [50] Burian S J, McPherson T N, Brown M J, Streit G E, Turin H J. Modeling the effects of air quality policy changes on water quality in urban areas. Environmental Modeling and Assessment, 2002, 7(3): 179-190.
- [51] Saghaian B, Farazjoo H, Bozorgy B, Yazdandoost F. Flood intensification due to changes in land use. Water Resources Management, 2008, 22(8): 1051-1067.