

DOI: 10.5846/stxb201708281551

李莹莹, 尤罗利, 陈永生, 黄季夏. 环巢湖地区多水塘景观时空格局演变特征及其驱动因素. 生态学报, 2018, 38(17): - .

Li Y Y, You L L, Chen Y S, Huang J X. Spatial-temporal characteristics of multi-pond landscape change and their driving factors in the Chaohu Basin, China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(17): - .

环巢湖地区多水塘景观时空格局演变特征及其驱动因素

李莹莹¹, 尤罗利¹, 陈永生¹, 黄季夏^{2,3,*}

¹ 安徽农业大学林学与园林学院, 合肥 230036

² 北京林业大学精准林业北京市重点实验室, 北京 100083

³ 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

摘要:快速城市化背景下, 小型水体(人工、自然、半自然)景观正在大量消失, 本文以环巢湖地区多水塘景观(水塘面积小于 10 hm²)为例, 基于遥感影像数据, 综合运用 RS/GIS 技术和 Fragstats 3.3 软件对 1989 年、2000 年和 2016 年 3 个年份环巢湖地区多水塘景观格局时空动态进行分析, 运用地理探测器深入探讨多水塘景观面积变化驱动要素, 对帮助理解多水塘景观演变带来的景观格局——过程关系及多水塘景观保护、利用和恢复等具有重要的现实意义。研究结果表明: (1) 1989—2016 年间, 农田景观面积比例呈下降趋势, 表现的更加破碎, 建设用地景观面积比例大幅度增加, 森林绿地景观持续破碎化, 水体景观面积比例下降, 多水塘景观斑块数量、面积、斑块形状指数、最大斑块指数均呈下降趋势; (2) 基于 3 km×3 km 网格单元多水塘景观时空演变特征分析表明, 巢湖北岸多水塘景观集中在烔炀镇、黄麓镇, 巢湖南岸多集中在白山镇、盛桥镇和槐林镇, 这些地区也是多水塘景观格局变化最剧烈的地方; (3) 基于地理探测器, 揭示环巢湖地区多水塘景观用地变化的主要影响因子。因子探测结果表明, 自然环境条件中的坡度因子 q 值最大, 为 0.545, 其次为建设用地变化量、农田变化量、人口密度变化量和林地变化量等, 交互探测结果表明, 多水塘景观面积变化各因子交互作用后, 对多水塘景观面积变化的影响显著增强, 由此表现出多水塘景观变化影响要素的多样性和复杂性。

关键词: 巢湖; 水塘; 景观格局; 驱动因素; 地理探测器

Spatial-temporal characteristics of multi-pond landscape change and their driving factors in the Chaohu Basin, China

LI Yingying¹, YOU Luoli¹, CHEN Yongsheng¹, HUANG Jixia^{2,3,*}

¹ College of Forestry and Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

² Precision Forestry Key Laboratory of Beijing, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

³ The Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Chinese Academy of Science, Beijing 100101, China

Abstract: Recently, the decrease in small pond landscapes due to rapid urbanization has been a concerning issue in China. In this paper, an integrated approach of remote sensing (RS), geographic information system (GIS) techniques, and statistical methods was employed to characterize the spatial-temporal dynamics of multi-pond landscape changes in the Chaohu Basin, an area that has seen rapid urbanization since the late 1980s. Landscape metrics were calculated to analyze the multi-pond landscape change associated with increased urbanization. The geographical detector method was also used to investigate the driving factors of changes in multi-pond landscapes. The results showed that the proportions of urbanized

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301650, 41501426, 31570701); 安徽省教育厅自然科学重点项目(kJ2017A140); 中国博士后科学基金面上基金(2016M600119); 辽宁省社科规划基金项目(2016J009)

收稿日期: 2017-08-28; 网络出版日期: 2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangjx@bjfu.edu.cn

areas and forest landscape fragmentation increased rapidly in the study area, and the proportions of farmland and water bodies decreased. Significantly, the research revealed the overall decreases in multi-pond landscape numbers and pond densities, but also increasing multi-pond landscape fragmentation. Based on a 3×3 km grid, spatial unit analyses showed that the multi-pond landscapes were concentrated in the towns of Tongyang and Huanglu on the north bank of Chaohu Lake, and the towns of Baishan, Shengqiao, and Huai Lin on the south bank of Chaohu Lake. Results from factor detectors showed that the slope factor had the greatest effect on the change in multi-pond landscapes, followed by changes in the construction land factor, farmland factor, population density factor, and forest land factor. Results from the ecological detector disclosed that there were significant differences in the formation mechanisms of the multi-pond landscape change, and after the interaction of each factor, the change in multi-pond landscapes was significantly enhanced, which showed driving factors were various and complex in their contributions toward the change in multi-pond landscapes.

Key Words: Chaohu; pond; landscape pattern; driving factors; geographical detector

多水塘景观是指多而小的水塘由于位置靠近或相互连接而形成的集合^[1],作为一种重要的水资源,全世界面积在 10 hm^2 以下的水塘景观占据了全球地表水资源的 30% 左右^[2]。多水塘景观是在中国历史上长期存在的典型“水适应性景观”^[3],广泛分布于中国的东部和西部地区^[4-6],具有雨洪滞蓄与旱涝调节、净化水质、生物多样性保护等多种生态功能^[7-11]。此外,多水塘景观还具有文化、景观、休闲游憩功能,反映人地关系的历史演变过程^[12-13]。然而,在全球气候变化和快速城市化背景下,20 世纪 80 年代在中国广泛存在的多水塘系统,在数量和面积上均呈下降趋势,多水塘景观功能退化显著^[2]。世界各国均已开展相关多水塘景观的研究^[13-14],对多水塘研究的重点更多的聚焦在人为影响下的水塘功能转变、水塘网络构建与保护以及水塘的管理与评价^[13,15]。在中国,关于湖泊、水库等大型水域景观研究较多,对小型水体景观的研究不够关注^[2-3]。

巢湖流域小型塘坝自明清时期开始大量涌现,其数量之多,分布范围之广都有别于其他地区,不仅为巢湖流域农业提供灌溉功能,也形成了该地区最具特色的人文景观^[16]。近年来,随着社会经济的快速发展,环巢湖流域景观格局发生较大变化^[17-24],然而,迄今鲜有对环巢湖地区多水塘景观格局演变及其驱动因素的研究。本研究以环巢湖地区多水塘景观为研究对象(水塘面积在 10 hm^2 以下),基于景观生态学研究范式,运用遥感和地理信息系统技术手段,就快速城市化阶段的环巢湖地区多水塘景观格局时空演变特征进行分析,进而运用地理探测器探索多水塘景观空间演变驱动因素,以期对环巢湖地区发展过程中多水塘景观格局优化和保护利用等问题提供科学依据。

1 研究区概况

环巢湖地区位于安徽省中部,长江流域下游左岸,地理坐标位于 $117^{\circ}16'54''$ — $117^{\circ}51'46''\text{E}$, $30^{\circ}25'28''$ — $31^{\circ}43'28''\text{N}$ 之间。地区内总轮廓为东西长、南北窄,东面高、西面低,环绕在巢湖周边。环巢湖地区属亚热带湿润季风气候,气候温和,四季分明;年际降水量变化较大,降水量以夏季较为集中;地带性植被为落叶与常绿阔叶混交林;区域内水系发达,河流众多。巢湖因水而生,巢湖地区也因水而兴,几千年来巢湖人修建了大量的塘、坝、堰、圩等农田水利工程。环巢湖地区土地面积 2570 km^2 ,共包括 1 区 1 市 14 镇,即包河区(滨湖新区)、巢湖市区以及环巢湖 14 个乡镇(街道)(图 1)。

2011 年,在国务院下发《关于同意安徽省撤销地级巢湖市及部分行政区划调整的批复》文件之后,中国五大淡水湖之一的巢湖,成为合肥市的“内湖”。在新的行政区划格局背景下,环巢湖地区作为巢湖流域人口最为集中、城镇建设活动最活跃、污染负荷最大来源地,其土地利用发展方向可能发生较大改变,本研究将是快速城镇化背景下多水塘景观演变的背景记录。

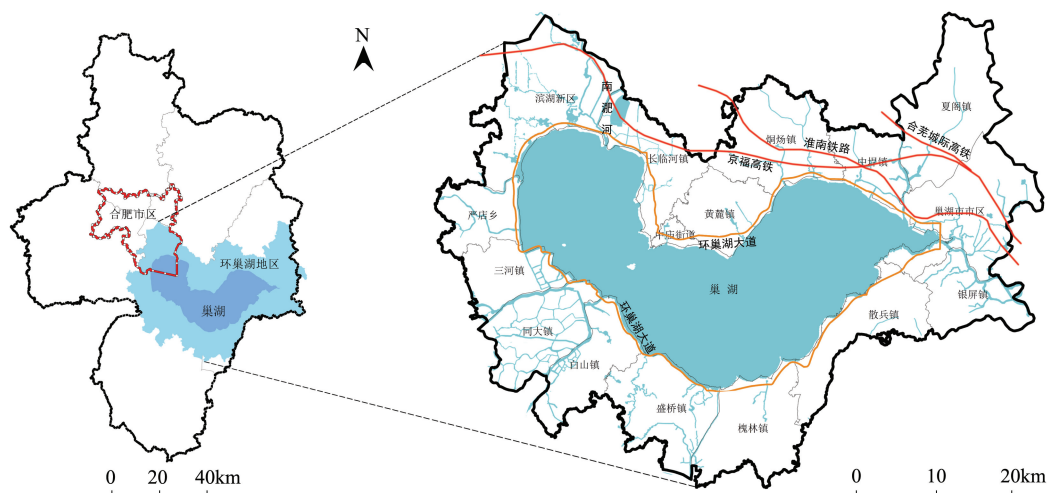


图 1 研究区地理位置和范围

Fig.1 Location of the study area

2 研究方法

2.1 数据来源及处理

2.1.1 遥感影像及处理

根据本文的研究目的和研究范围,选取 1989 年 2 月 13 日,2000 年 9 月 2 日,2016 年 7 月 25 日 3 个年份的 Landsat TM 和 Landsat 8 遥感数据。三幅影像在研究区范围内影像云量少,质量较好,为各个不同时期土地利用解译提供良好的数据基础。本研究主要将环巢湖地区土地利用划分为 4 种类型,4 种用地类型及含义见表 1。具体分类方法见相关文献^[25-26]。土地利用信息提取过程采用一系列的辅助数据,包括合肥市水利工程图,合肥市土地利用分类图,环巢湖地区行政区划图,以及野外调查数据(环巢湖地区湿地资源调查数据,2013 年和 2015 年)等资料。本文重点研究的多水塘景观信息是在分类结果中单独提取的面积小于 10 hm² 的水塘斑块。

表 1 环巢湖地区土地利用类型解译分类及说明

Table 1 The interpretation classification of Chaohu Basin land use

用地类型 Land use type	包含内容 Description
水体 Water	湖泊、河流、水库、池塘等天然或人工水域
林地 Forests	包括所有具有一定森林覆盖率的区域
农田 Crops	包括耕地、水田、菜地以及休耕地等
建设用地 Built-up	已建成用地,包括城乡居民点、工矿、交通设施用地等

2.1.2 人口、社会与经济等数据

本文涉及到的人口、社会、经济等方面的数据来源于《合肥市统计年鉴》(2012—2016 年)、合肥市城市总体规划(2013—2020 年)、合肥市湿地保护与发展规划(2013—2030 年)、合肥市巢湖水环境专项规划(2015)以及环巢湖地区乡镇的总体规划等相关文本。

2.2 网格划分及景观格局指数选取

景观格局指数高度浓缩景观格局信息,用来定量描述景观空间格局的变化,从一定程度上反映区域人类活动对景观的干扰程度^[26]。单纯应用总体景观格局特征变化分析不足以全面理解多水塘景观空间格局演变。因此,本研究试图通过网格划分综合分析环巢湖地区多水塘景观格局演变特征。考虑到不同网格大小即

尺度效应对分析结果的影响,在 ArcMap 10.2 的 Fishnet 工具中设定 $0.5\text{ km}\times 0.5\text{ km}$ 、 $1\text{ km}\times 1\text{ km}$ 、 $2\text{ km}\times 2\text{ km}$ 、 $3\text{ km}\times 3\text{ km}$ 、 $4\text{ km}\times 4\text{ km}$ 、 $5\text{ km}\times 5\text{ km}$ 等多个网格大小空间结果比较分析后,发现在体现人类活动影响特征、水体及周边关联像元的覆盖范围、景观格局指数计算等方面,较小的网格可能会人为地切断小水体的空间联系,较大的网格则可能掩盖了小水体的细节特征,相较于其他尺度的网格单元, $3\text{ km}\times 3\text{ km}$ 的网格尺度在兼顾上述空间特征与模型运行效率方面取得了较好的平衡,因而对于刻划研究区用地结构相对简单、突变不明显的景观特征是比较适宜的。通过对研究区总体景观格局及 $3\text{ km}\times 3\text{ km}$ 网格单元内多水塘斑块图斑提取分析,可以反映多水塘景观的格局特征演变过程,刻画出多水塘景观新生、扩散、合并或消亡的时空过程。参考相关研究后比较分析^[27-29],选择斑块面积(Class Area, CA)、斑块数量(Number of Patches, NP)、斑块所占景观面积比例(Percent of Landscape, PLAND)、斑块密度(Patch Density, PD)、最大斑块指数(Largest Patch Index, LPI)、平均斑块大小(Mean Patch Size, MPS)、景观形状指数(Landscape Shape Index, LSI)作为衡量多水塘景观面积、数量、聚集程度特征的景观格局指标,基于遥感影像解译分类图,在 Arcgis 10.2 和 Fragstats 3.3^[30] 软件支持下分析计算。

2.3 地理探测器研究方法

地理探测器作为探测和利用空间分异性的工具,其最大优势在于没有过多的假设条件,可以有效克服传统统计方法的局限性,已被运用于从自然领域到社会领域的研究范围^[31],如对中国县域城市化空间变异的驱动力^[32]、居民宜居满意度的影响机理^[33]、农村用地地理要素识别^[34]、美国陆表切割度空间变异的主导因素探测^[35]等方面的应用研究。

地理探测器机理如图 2 所示^[36]:假设在地理空间上,如果某种环境因素能够影响景观格局,那么该因素与景观格局指数在地理空间上的分布应具有相似性。

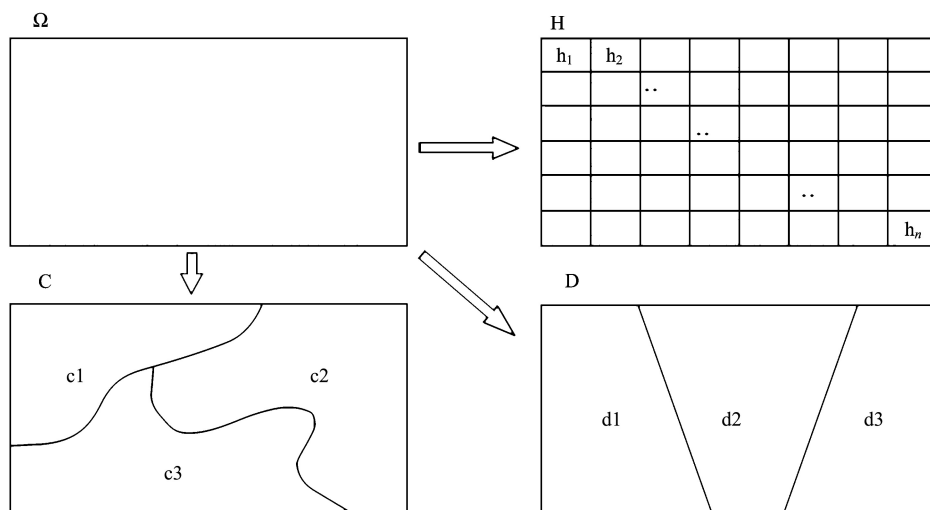


图 2 地理探测器机理示意图^[36]

Fig.2 The principle of geographical detector

Ω : 地理空间 the whole geographical space; H : 网格系统 the grid system $H = \{h_i; i = 1, 2, \dots, n\}$; C : 影响因素 potential factors C ; D : 另一种影响因素 potential factors D

假设地理空间为 Ω , 景观格局指数在地理空间上的网格分布为 H , 通过规则的格网将地理空间划分为 n_T 个单元, 每个单元中景观格局指数为 $H_i (1 \leq i \leq n_T)$ 。某种影响景观格局指数的因素在空间上的分布为 D , 该因素在地理空间上可以分为 n_D 个子区域。景观格局指数 (H) 与影响因素 (C 、 D) 叠加作用后, 在地理空间上形成 n_D 个子区域, 每个子区域中包含有 $n_z (1 \leq z \leq n_D)$ 个格网, 因此有 $n_T = \sum_{z=1}^{n_D} n_z$ 。子区域中每个格网单元景观格局指数记为: $H_{z,i} (1 \leq z \leq n_D, 1 \leq i \leq n_z)$ 。

整个地理空间 Ω 的景观格局指数为:

$$\overline{H_T} = \frac{1}{n_T} \sum_{i=1}^{n_T} H_i \quad (1)$$

整个地理空间 Ω 的景观格局指数的方差为:

$$\sigma_T^2 = \frac{1}{n_T} \sum_{i=1}^{n_T} (H_i - \overline{H_T})^2 \quad (2)$$

假设某个影响因素 D 将地理空间分为若干个子区域,选取其中的两个子区域,分别记为 z_1 和 z_2 ,则这两个子区域景观格局平均指数为:

$$\overline{H_{z_1}} = \frac{1}{n_{z_1}} \sum_{i=1}^{n_{z_1}} H_{z_1,i} \quad (3)$$

$$\overline{H_{z_2}} = \frac{1}{n_{z_2}} \sum_{i=1}^{n_{z_2}} H_{z_2,i} \quad (4)$$

这两个子区域景观格局指数的期望为:

$$\sigma_{z_1}^2 = \frac{1}{n_{z_1}} \sum_{i=1}^{n_{z_1}} (H_{z_1,i} - \overline{H_{z_1}})^2 \quad (5)$$

$$\sigma_{z_2}^2 = \frac{1}{n_{z_2}} \sum_{i=1}^{n_{z_2}} (H_{z_2,i} - \overline{H_{z_2}})^2 \quad (6)$$

使用 t 值检验,

$$t_{H_{z_1}-H_{z_2}} = \frac{H_{z_1}-H_{z_2}}{[\sigma_{z_1}^2/n_{z_1} + \sigma_{z_2}^2/n_{z_2}]^{1/2}} \quad (7)$$

其自由度为:

$$df = \frac{\sigma_{z_1}^2/n_{z_1} + \sigma_{z_2}^2/n_{z_2}}{\frac{1}{n_{z_1}-1} (\sigma_{z_1}^2/n_{z_1})^2 + \frac{1}{n_{z_2}-1} (\sigma_{z_2}^2/n_{z_2})^2} \quad (8)$$

本文主要应用地理探测器中的因子探测和交互探测 2 部分内容进行相关研究。其中,

(1) 因子探测主要测度不同影响因子对景观格局变化的解释程度,根据其核心思想可以理解为,多水塘景观存在于特定的空间位置上,影响其变化的环境因子在空间上具有差异性,若某环境因子和多水塘景观的变化在空间上具有一致性,则说明这个环境因子对多水塘景观的发展变化具有决定意义^[36]。分层总体方差为:

$$\sigma_{TD}^2 = \frac{1}{n_T} \sum_{z=1}^{n_D} \sum_{i=1}^{n_z} (H_{z,i} - \overline{H_z})^2 \quad (9)$$

空间分异性 q 值大小可以代表影响因子对因变量的解释力,其公式为^[31]:

$$q = 1 - \frac{\sigma_{TD}^2}{\sigma_T^2} \quad (10)$$

q 取值范围为 $[0,1]$,数值越大表明分类因素对景观格局变化的解释力越强。

本文根据多水塘景观自身形成特点,结合相关理论分析,从自然环境条件、社会经济发展状况和土地利用变化情况等多方面对环巢湖地区多水塘景观变化影响因子进行筛选。以 2000 年和 2016 年环巢湖地区 1 区 1 市 14 镇的多水塘斑块面积统计结果,计算得出多水塘景观用地面积的变化量。选取自然环境、社会经济、土地利用变化等 10 个影响因子作为影响多水塘景观用地动态变化的地理探测影响因子。以水塘面积的变化量为因变量,其他影响因子作为解释变量,通过地理探测器研究方法,分别计算出各影响因子对多水塘景观面积变化的空间分异性 q 值。具体影响因子选择为:

① 自然环境条件

自然环境条件主要包含了地理地形因素、河流水系条件及旅游资源状况。其中,高程及坡度是影响城镇和农村聚居地形态发展的重要影响因子,而多水塘景观多围绕居民点发展;从河流水系条件看,环巢湖地区水系发达,多水塘景观用地变化会受到来水条件的影响;在旅游资源条件方面,环巢湖地区拥有丰富的自然资源和人文历史资源,随着人们对环巢湖地区旅游规划的重视,在旅游资源丰富的地方,其周边的多水塘景观有可能会连带受到保护和重视,因此,选择旅游资源数量作为多水塘景观用地变化的影响因子之一。

②社会经济发展状况

在快速城镇化背景下,环巢湖地区社会经济状况发生较大变化。随着城乡人口流动速度的加快,农村人口越来越多的会选择到城镇生活,而环巢湖地区的发展机遇,又使一些人口向这里转移,人口的变化对较为敏感的多水塘景观影响较大。“要发展,先修路”,环巢湖地区的对外交通和联系交通的增加是该地区经济发展的最显著表现。因此,选择人口密度变化和道路交通用地面积变化作为影响多水塘景观变化的社会经济发展因子。

③政府政策环境

在城乡发展过程中,政府依据地区人口、产业发展、综合发展目标、未来发展潜力等因素,在用地发展方向及土地合理分配上进行指导,提供使用类型和强度的量化要求。因此,以《合肥市城市空间发展战略及环巢湖地区生态保护修复与旅游发展规划》的战略格局与环巢湖地区各区、县(市)的土地利用总体规划(2006—2020)城乡建设用地规模控制指标,作为探讨多水塘景观用地变化的政府政策环境影响因子。

(2)交互探测用来解释影响因子是独立起作用还是具有交互作用。现有的统计模型都是分析单个变量对因变量的影响,交互探测能够同时分析两个或者多个变量之间的交互作用对因变量影响。对于两个影响因素 D_1 和 D_2 ,它们对景观格局指数变化的影响可能是独立的,也可能是共同作用的。我们可以使用 GIS 软件叠加地理图层 D_1 和 D_2 ,得到新的地理图层 E 。比较 D_1 、 D_2 和 E 的 q 值,判断交互作用的影响^[37-38]。

3 结果与分析

3.1 环巢湖地区总体景观格局特征分析

通过图 3 对环巢湖地区不同景观类型水平的景观格局分析数据可知,农田和建设用地 PLAND 呈负相关,虽然在研究期末农田仍是占据环巢湖地区的主要用地类型,但是建设用地的 PLAND 从 2.7% 增加到 16.4%, 27 年间增加了近 6 倍的面积。农田 LPI 的下降和建设用地 LPI 的增加,表明景观的优势类型在发生着一定的变化。值得一提的是林地的 LPI 和 MPS 呈下降趋势,林地 PD 呈增大趋势,综合说明林地表现出的演变趋势是更加破碎,更加复杂。

水体格局的演变与其他斑块类型的演变休戚相关,水体 PLAND 和 PD 的下降以及 MPS 的增加,表明本来在环巢湖地区广泛存在的水体,在城市化进程下逐渐消失,在区域内呈聚集分布趋势。城镇化进程中多种景观类型共同作用导致景观类型水平的时空格局变化,这必将对环巢湖地区整体景观及生态环境造成很大影响。

进一步对环巢湖地区多水塘景观格局分析结果如表 2 所示,从 1989 年到 2016 年,水塘 NP 从 4432 个减少到 3365 个, MPS 从 0.75 增加到 1.02, PD 从 133.14 下降到 97.96, LSI 从 77.23 下降到 66.79,说明原本在环巢湖地区广泛分布、复杂多样的多水塘景观在城市化进程中不断减少,表现出聚集趋势。LPI 从 1989 年的 0.72 下降到 2016 年的 0.37,表明原本有一定优势的水塘被其他斑块类型不断取代。

3.2 环巢湖地区多水塘景观时空演变特征

从环巢湖地区多水塘景观的斑块面积时空格局演变来看(图 4),1989 年多水塘景观在除巢湖市区和散兵镇以外的环巢湖大部分地区均为 10 hm^2 以上的广泛分布格局,而到 2016 年,在环巢湖大部分区域,多水塘景观面积均有下降趋势。通过对多水塘景观的斑块数量分析表明(图 5),1989 年多水塘景观斑块数量在 $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ 网格内大多为大于 10 个的分布格局,而到了 2016 年,多水塘景观多集中在巢湖北岸的烔炀镇、黄

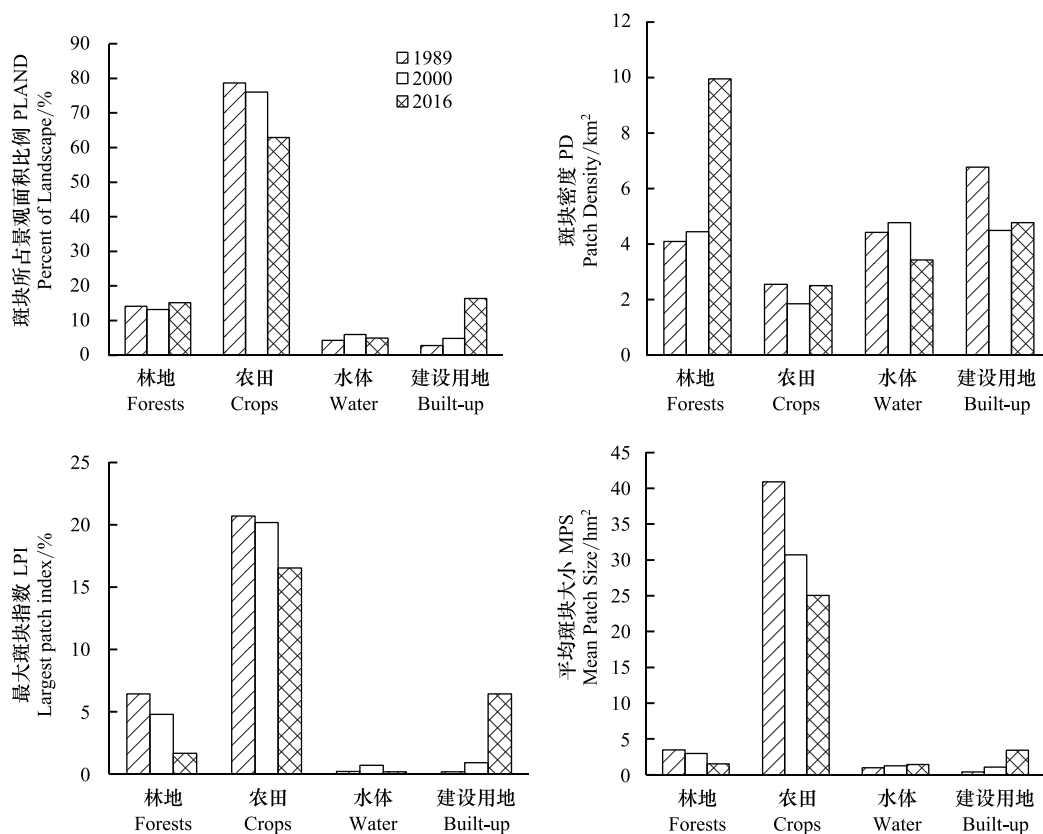


图3 环巢湖地区斑块类型水平格局特征的演变

Fig.3 Class level landscape pattern change quantified by landscape metrics in Chaohu Basin

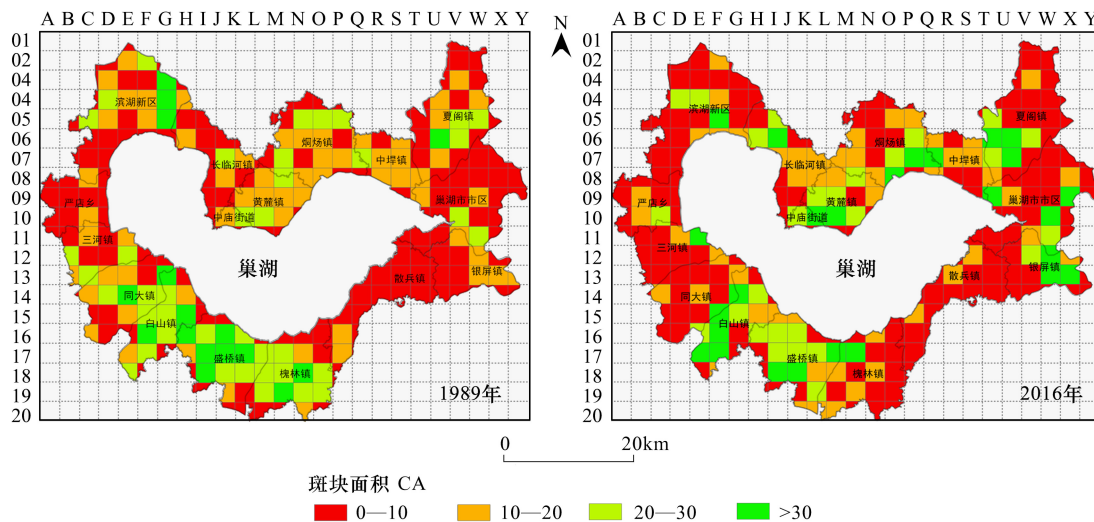


图4 1989年、2016年环巢湖地区3 km×3 km 网格单元统计的多水塘景观斑块面积空间分布

Fig.4 The spatial distribution of multi-pond landscape patch area using a 3 km×3 km grid in the Chaohu Basin in China in 1989 and 2016

麓镇和巢湖南岸的白山镇、盛桥镇和槐林镇。多水塘景观在巢湖流域具有悠久的历史,其兴盛多与农业生产关系密切,目前多水塘景观聚集局域多为传统农业区域,具有环巢湖流域典型的历史文化特征。进一步的分析表明,环巢湖地区的多水塘景观斑块数量的下降趋势,形势不容乐观。如表3所示,3 km×3 km 网格内多水塘景观斑块数量在 0—10 阈值区间内呈现增加趋势,网格数比例分别从 1989 年所占比例的 37.30% 增加至

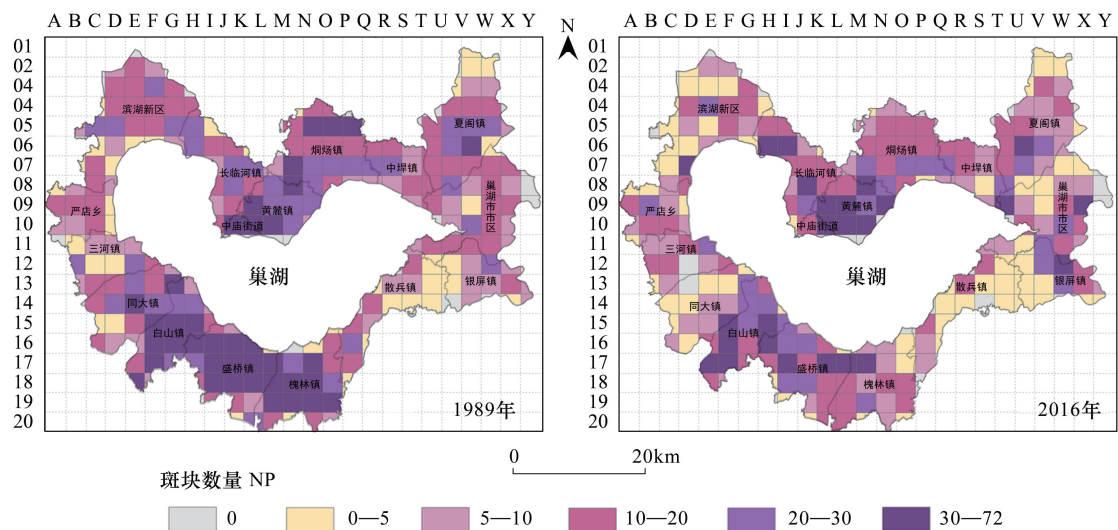


图 5 1989 年、2016 年环巢湖地区 3 km×3 km 网格单元统计的多水塘景观斑块数量空间分布

Fig.5 The spatial distribution of multi-pond landscape patch number using a 3 km×3 km grid in the Chaohu Basin in China in 1989 and 2016

2016 年的 76.92%。与此同时,斑块数量大于 10 的分组,网格所占比例呈现持续减少,尤其是斑块数量大于 35 的网格数下降明显。基于 3 km×3 km 网格单元分析,环巢湖地区多水塘景观 LSI 从 1989 到 2016 年间,在大部分地区均呈下降趋势(图 6),尤其是在多水塘景观原本较为丰富的烔炀镇、同大镇、白山镇、盛桥镇、槐林镇下降最为明显,表明原来研究区内以多个小而不规则的水塘占据优势,而现在更多的聚集为单个大水塘。部分区域 LSI 的增加(如滨湖新区所在的 D-04, D-04, F-05),是因为城市化进程中居住小区内部和城市公园中人造水景的破碎化及不规则化造成的。

表 2 环巢湖地区多水塘景观的总体格局特征

Table 2 Synoptic multi-pond landscape pattern change quantified by landscape metrics in Chaohu Basin

年份 Year	斑块数量 NP Number of patches	斑块密度 PD Patch density/ (个/km ²)	最大斑块指数 LPI Largest patch index/%	斑块形状指数 LSI Landscape shape index	平均斑块面积 MPS Mean patch size/hm ²
1989	4432	133.14	0.72	77.23	0.75
2000	3674	110.81	0.50	71.85	0.90
2016	3365	97.96	0.37	66.79	1.02

3.3 环巢湖地区多水塘景观变化驱动因素探测识别分析

从因子探测结果(表 4)来看,坡度因子的解释力最高,说明水塘斑块所在的特殊地理位置对于水塘的保护具有十分重要的意义。其次,建设用地变化量、农田变化量和林地变化量对于多水塘景观的变化也具有至关重要的影响,说明政府政策对于土地利用总体规划的引导明显影响着水塘用地的变化。另外,人口密度变化量对于多水塘景观用地的变化也产生了一定影响力,研究区内人口的增加使得对于建设用地的需求增加,进而可能会影响到多水塘景观的变化,此外交通的便利也降低了运输成本,使得填埋多水塘景观转换为建设用地等更加便利。

交互探测结果发现,人口密度变化量和其他影响因子交互后因子解释力显著增大,例如,与高程交互后解释力为 0.976,显著大于人口密度变化量的解释力(0.399)和高程的解释力(0.127)之和。这意味着,在任意影响要素与人口密度因素控制作用下,交互后对多水塘景观变化影响因子解释力均明显增强,也印证了人口密度影响因子的重要性。而河流水系数量与其他影响因子交互后,解释力最大的是与农田变化量交互后,结果

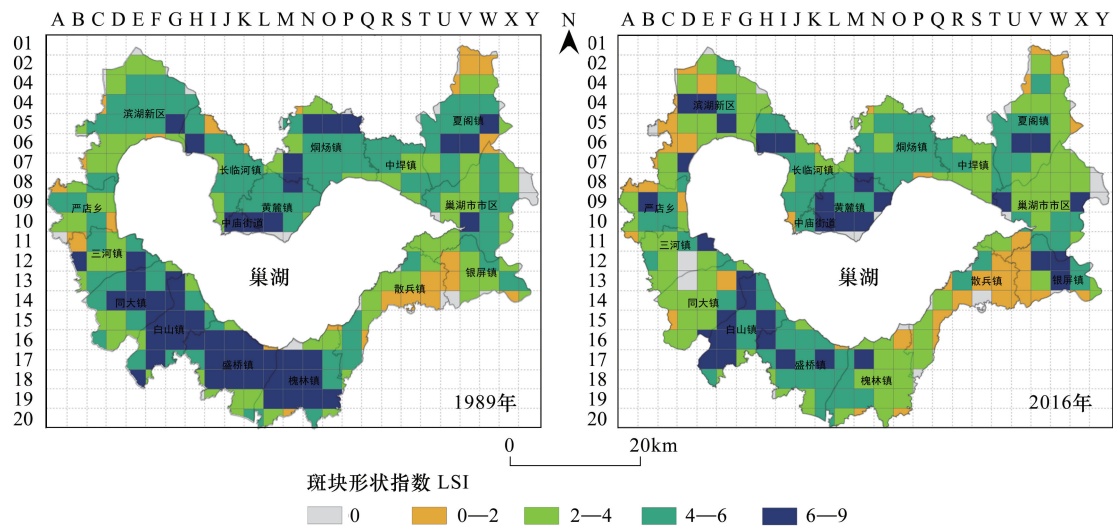


图 6 1989 年、2016 年环巢湖地区 3 km×3 km 网格单元统计的多水塘景观斑块形状指数空间分布

Fig.6 The spatial distribution of multi-pond landscape shape index using a 3 km×3 km grid in the Chaohu Basin in 1989 and 2016

为 0.903,也是显著大于河流水系影响因子的解释力(0.193)和农田变化量因子的解释力(0.409)之和。这说明,任意两个影响因子交互后对多水塘景观变化的因子解释力均会显著提升,也就是说多水塘景观变化受到多影响因素的共同制约,两个影响因子相互交互后的因子解释力要明显强于原来单个影响因子。

表 3 基于 3 km×3 km 网格的环巢湖地区多水塘景观斑块数量

Table 3 The patch number of multi-pond landscape using a 3 km×3 km grid in the Chaohu Basin

斑块数量 Number of Patches	1989 年		2016 年		变化率/% Change rate
	网格数/个 Number of grids	比例/% Percent	网格数/个 Number of grids	比例/% Percent	
0—5	39	15.98	66	27.50	69.23
6—10	52	21.31	56	23.33	7.69
11—15	36	14.75	35	14.58	-2.78
16—20	39	15.98	31	12.92	-20.51
21—25	28	11.48	18	7.50	-35.71
26—30	12	4.92	9	3.75	-25.00
31—35	11	4.51	12	5.00	9.09
36—40	9	3.69	5	2.08	-44.44
41—45	4	1.64	4	1.67	0.00
46—50	6	2.46	3	1.25	-50.00
>50	8	3.28	1	0.42	-87.50

4 讨论

4.1 多水塘景观格局的多尺度研究

环巢湖地区在 27 年间多水塘景观斑块数量下降了 24%,有关多水塘的研究在国内外均表明了类似的情况,例如,在英国快速城市化发展的 40 年,水塘斑块数量下降了 55%左右^[39],我国台湾省桃园地区在 1926 到 1960 年间,水塘数量消失了 37%^[40]。根据本文研究结果,环巢湖地区农田面积仍占到 60%以上,相关研究表明,农田景观转变成建设用地景观对多水塘景观影响最大^[2,12,41],对于研究区目前相对较好的本底条件,现在开始重视多水塘景观的保护利用具有深远的意义。Curado 等^[42]在法国南部研究表明小水塘比大水塘消失的

更快,王志芳等^[41]在重庆两江新区的研究表明,中小型水塘斑块大面积消失,保留下来的水塘斑块有部分大型水库作为城市景观发挥作用。环巢湖地区多个小水塘有聚集成大水塘的趋势,尤其需要加强对面积较小水塘的保护。有研究表明,周围有林地的水塘,其综合生态系统服务的质量较高^[7]。研究区林地面积总量虽然有所增加,但更多的是见缝插绿,表现出更加破碎化的林地景观。如果能在小尺度上对具体水塘周边土地利用方式演变进行分析,尤其是对林地与多水塘景观演变关系研究,可以得出更多对现实有指导意义的结果。有学者运用综合分析法对台湾云林县多水塘景观研究,筛选出需要重点保留的对象^[43]。环巢湖地区多水塘斑块面积和数量均呈下降趋势,尤其需要多关注某些多水塘斑块减少较快的区域,在小尺度上确定亟需保护的水塘,以便更好的发挥水塘功能。

表 4 环巢湖地区多水塘景观用地变化量的地理探测影响因素及探测结果

Table 4 Indicators and results of geographical detector on the changes of multi-pond landscape in the Chaohu Basin

影响因素 Influencing factors	指标 Factors	空间分异性 q Spatial heterogeneity q
自然环境条件 Natural environments	坡度	0.545
	河流水系数量	0.193
	风景资源数量	0.188
	高程	0.127
社会经济发展状况 Social and economic developments	人口密度变化量	0.399
	主要对外道路数量	0.280
	道路交通面积变化率	0.061
政府政策环境 Government policies	建设用地变化量	0.503
	农田变化量	0.409
	林地变化量	0.398

在对景观格局及其过程特征的识别、比较和应用上多尺度研究是非常必要和重要的^[44]。本文在景观生态学理论与方法指导下展开研究,重点在于应用景观格局分析方法来揭示城市化进程影响下的环巢湖地区多水塘景观格局时空演变特征。研究结果可以为小尺度研究提供一定参考,而参考本文研究方法未来在更大的巢湖流域尺度上进行多水塘景观系统研究,以适用于流域长期管理也是值得探讨的方向。

4.2 多水塘景观变化驱动因子研究

本文利用地理探测器方法对环巢湖地区多水塘景观斑块面积变化影响因子进行了解释,地理探测器作为一种新颖的空间分析工具,能够有效地揭示研究对象景观格局变化的影响机理。环巢湖地区多水塘景观演变是多维要素的影响结果,本研究难以把所有影响因子考虑详尽,结合相关研究及数据的可获得性,选取了 10 个影响因子,可提高研究结论的对比性与实践性。结果表明,政府政策引导是影响多水塘景观变化的主要因素,该结论与其他地区水塘演变影响因素分析相一致^[2,41]。坡度对多水塘面积变化影响最大可解释为,下垫面地形条件对水塘面积的变化有很大的影响。人口密度变化对水塘面积变化影响解释力较强,阎克勤等^[12]在我国台湾桃园用多元回归分析法也得出人口发展对水塘变化的影响较大。河流水系数量对水塘面积变化解释力在本研究中虽然不是最大的,但是与农田变化量交互后解释力增大,有可能是河流水系在与农田灌溉沟渠连通后会对水塘面积变化产生一定影响,Huang^[29]对桃园农田水塘沟渠网络连通性的研究表明沟渠连通性与水塘变化有一定关系。Curado 等^[42]使用前向逻辑回归方法,得出法国北部农业地区水塘持久存在原因是受到沼泽、草原、沙丘灌木的积极影响以及农田和城市化用地的负面影响。需要说明的是地理探测器中的因子探测器只能反映因子的影响大小,却无法反映影响的正负性。对多水塘景观演变驱动因子的进一步研究需要通过现场的观测及实验方法,如水塘污染物情况、河流水系径流量等数据,能更全面的获得多水塘景观变化的影响因素。地理探测器方法的优势主要体现在能够同时分析两个或者多个变量之间的交互作用对因变量的影响^[36,38],而现有的统计模型多以分析单个变量对因变量的影响为主。在本文中,地理探测器被用于分

析两种变量的交互作用(例如自然环境条件因子与社会经济发展状况因子的耦合)对多水塘景观格局变化的驱动力,而对于多种因素的共同影响将是下一步研究的目标。

4.3 多水塘景观的综合保护与利用

城镇化进程在因水而兴的环巢湖地区仍会继续,多水塘景观不仅提供重要的生态系统服务功能,更是该地区的独特文化遗产,理应提升重视,更好的保护和利用。如何将多水塘景观与环巢湖地区发展和旅游产业相结合,打造独特的生态文化景观,进一步挖掘其文化价值是值得深入研究的方向。而如何通过学习多水塘景观网络构建解决城市化进程中出现的水问题及指导海绵城市建设更是值得深入思考的问题。我国台湾省桃园地区水塘网络的构建^[29]、长江三峡水库消落带多功能基塘的设计与实践^[45]等都是多水塘景观保护和利用可以借鉴的方向。

5 结论

本文着眼于长期被忽略的多水塘景观,基于景观格局指数、网格分析法、空间统计及 RS/GIS 技术,对环巢湖地区多水塘景观格局时空特征进行了定量分析,同时运用地理探测器从多方面进行多水塘景观变化驱动因素探测识别分析,结果如下:

(1)环巢湖地区景观水平上,从 1989 年至 2016 年,随着城镇化进程的加快,农田 PLAND 呈下降趋势,表现的更为破碎,在某些区域的主导地位已丧失,建设用地 PLAND 呈 6 倍的增长趋势,最大斑块指数 LPI 也呈增加趋势,林地 PLAND 虽然有一定增加,但是却表现的更加破碎,水体 PLAND 呈下降趋势。多水塘景观斑块数量、面积、斑块形状指数、最大斑块指数均呈下降趋势。

(2)进一步基于 3 km×3 km 网格单元对多水塘景观时空演变特征分析表明,多水塘景观斑块数量、斑块面积和斑块形状指数在研究区内大部分区域均呈下降趋势。多水塘景观目前集中分布的区域包括巢湖南岸的白山镇、盛桥镇、槐林镇和北岸炯炆镇、黄麓镇等,这些区域也是多水塘景观变化最剧烈的区域。

(3)本文利用地理探测器从空间布局视角出发,分别从自然环境条件、社会经济发展状况、政府政策环境 3 个方面选取代表性指标,揭示环巢湖地区多水塘景观用地变化的主要影响因子。结果表明:坡度因子对多水塘景观变化影响最大,建设用地变化量、农田变化量、人口密度变化量、林地变化量对多水塘景观变化也具有较高的解释力,各因子相互作用后,对多水塘景观变化的影响显著增强,表现出多水塘景观用地变化影响要素的多样性和复杂性。

参考文献 (References):

- [1] Boothby J. Framing a strategy for pond landscape conservation: aims, objectives and issues. *Landscape Research*, 1999, 24(1): 67-83.
- [2] 张妤琳,刘晓南,赵宇,程炯.快速城市化地区塘的消减过程研究——以广州市天河区为例. *生态环境学报*, 2014, 23(2): 244-251.
- [3] 俞孔坚,姜芊孜,王志芳,李明翰.陂塘景观研究进展与评述. *地域研究与开发*, 2015, 34(3): 130-136.
- [4] Yin C Q, Shan B Q. Multipond systems: a sustainable way to control diffuse phosphorus pollution. *Ambio*, 2001, 30(6): 369-375.
- [5] 李玉凤,刘红玉,皋鹏飞,季香.农村多水塘系统水环境过程研究进展. *生态学报*, 2016, 36(9): 2482-2489.
- [6] Gao J, Wang R S, Huang J L. Ecological engineering for traditional Chinese agriculture—a case study of Beitang. *Ecological Engineering*, 2015, 76: 7-13.
- [7] Usio N, Imada M, Nakagawa M, Akasaka M, Takamura N. Effects of pond draining on biodiversity and water quality of farm ponds. *Conservation Biology*, 2013, 27(6): 1429-1438.
- [8] 涂安国,尹炜,陈德强,叶闽,雷阿林.多水塘系统调控农业非点源污染研究综述. *人民长江*, 2009, 40(21): 71-73.
- [9] Franci K E, Schnell G D. Relationships of human disturbance, bird communities, and plant communities along the land-water interface of a large reservoir. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 73(1): 67-93.
- [10] Oertli B, Joye D A, Castella E, Juge R, Cambin D, Lachavanne J B. Does size matter? The relationship between pond area and biodiversity. *Biological Conservation*, 2002, 104(1): 59-70.
- [11] Yin C Q, Zhao M, Jin W G, Lan Z W. A multi-pond system as a protective zone for the management of lakes in China. *Hydrobiologia*, 1993, 251(1/3): 321-329.
- [12] 閻克勤,蔡宜穎,紀思寧.影响桃园市陂塘土地利用变迁因素之研究. *建築與規劃學報*, 2014, 15(2/3): 193-214.

- [13] Biggs J, Williams P, Whitfield M, Nicolet P, Weatherby A. 15 years of pond assessment in Britain: results and lessons learned from the work of Pond Conservation. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 2005, 15(6): 693-714.
- [14] Smith S V, Renwick W H, Bartley J D, Buddemeier RW. Distribution and significance of small, artificial water bodies across the United States landscape. *Science of the Total Environment*, 2002, 299(1/3): 21-36.
- [15] Boothby J. Pond conservation: towards a delineation of pondscape. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems*, 2010, 7(2): 127-132.
- [16] 许忠本. 巢湖志. 合肥: 黄山书社, 1989: 1-131.
- [17] 黄木易, 何翔. 巢湖流域土地景观格局变化及生态风险驱动力研究. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(5): 743-750.
- [18] 台晓丽, 肖武, 张建勇, 吕雪娇, 丁晴. 基于景观指数的巢湖流域各县区耕地细碎化研究. *水土保持研究*, 2016, 23(4): 94-98.
- [19] 黄木易, 何翔. 近 20 年来巢湖流域景观生态风险评估与时空演化机制. *湖泊科学*, 2016, 28(4): 785-793.
- [20] 吴连喜. 巢湖流域 30 年土地利用变化及其驱动力研究. *土壤通报*, 2011, 42(6): 1293-1298.
- [21] 王传辉, 吴立, 王心源, 王官勇, 孙叶根, 胡降临. 基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究. *生态学报*, 2013, 33(18): 5808-5817.
- [22] 王秉义, 陈龙乾, 程从坤, 刘瑞. 巢湖流域土地优化利用技术集成框架初探. *地理与地理信息科学*, 2014, 30(6): 46-48.
- [23] Zhang Z M, Gao J F, Gao Y N. The influences of land use changes on the value of ecosystem services in Chaohu Lake Basin, China. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 74(1): 385-385.
- [24] Zhang Z M, Gao J F. Linking landscape structures and ecosystem service value using multivariate regression analysis: a case study of the Chaohu Lake Basin, China. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75: 3.
- [25] Janssen L L F, Vander Wel F J M. Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1994, 60(4): 419-426.
- [26] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级(第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [27] 李莹莹, 黄成林, 张玉. 快速城市化背景下上海绿色空间景观格局梯度及其多样性时空动态特征分析. *生态环境学报*, 2016, 25(7): 1115-1124.
- [28] Fang W T. A landscape approach to reserving farm ponds for wintering bird refuges in Taoyuan, Taiwan[D]. Texas: Texas A&M University, 2005.
- [29] Huang S L, Lee Y C, Budd W W, Yang M C. Analysis of changes in farm pond network connectivity in the peri-urban landscape of the Taoyuan area, Taiwan. *Environmental Management*, 2012, 49(4): 915-928.
- [30] Mcgarigal K, Cushman S A, Neel M C, Ene E. FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. 2002. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- [31] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134.
- [32] 刘彦随, 杨忍. 中国县城城镇化的空间特征与形成机理. *地理学报*, 2012, 67(8): 1011-1020.
- [33] 湛东升, 张文忠, 余建辉, 孟斌, 党云晓. 基于地理探测器的北京市居民宜居满意度影响机理. *地理科学进展*, 2015, 34(8): 966-975.
- [34] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 陈呈奕. 基于格网的农村居民点用地时空特征及空间指向性的地理要素识别——以环渤海地区为例. *地理研究*, 2015, 34(6): 1077-1087.
- [35] Luo W, Jasiewicz J, Stepinski T, Wang J F, Xu C D, Cang X Z. Spatial association between dissection density and environmental factors over the entire conterminous United States. *Geophysical Research Letters*, 2016, 43(2): 692-700.
- [36] Wang J F, Li X H, Christakos G, Liao Y A, Zhang T, Gu X, Zheng X Y. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the heshun region, China. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 107-127.
- [37] Hu Y, Wang J F, Li X H, Ren D, Zhu J. Geographical detector-based risk assessment of the under-five mortality in the 2008 Wenchuan earthquake, China. *PLoS One*, 2011, 6(6): e21427.
- [38] Huang J X, Wang J F, Bo Y C, Xu C D, Hu M G, Huang D C. Identification of health risks of hand, foot and mouth disease in China using the geographical detector technique. *International Journal of Environmental Research & Public Health*, 2014, 11(3): 3407-3423.
- [39] Heath D J, Whitehead A. A survey of pond loss in Essex, South-East England. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1992, 2(3): 267-273.
- [40] Fang W T, Chou J Y, Lu S Y. Simple patchy-based simulators used to explore pondscape systematic dynamics. *PLoS One*, 2014, 9(1): e86888.
- [41] 王志芳, 朱刚露. 城镇化过程中陂塘景观系统的特征演变与成因分析. *北京大学学报: 自然科学版*, 2017, 53(4): 701-709.
- [42] Curado N, Hartel T, Arntzen J W. Amphibian pond loss as a function of landscape change-a case study over three decades in an agricultural area of northern France. *Biological Conservation*, 2011, 144(5): 1610-1618.
- [43] Chou W W, Lee S H, Wu C F. Evaluation of the preservation value and location of farm ponds in Yunlin County, Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2013, 11(1): 548-572.
- [44] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法. *生态学报*, 2006, 26(7): 2340-2355.
- [45] 袁兴中, 杜春兰, 袁嘉. 适应水位变化的多功能基塘系统: 塘生态智慧在三峡水库消落带生态恢复中的运用. *景观设计学*, 2017, 5(1): 8-21.