

# 武汉市湖泊水域利用转变及其碳排放影响

马海良<sup>1, 2, 3</sup> 丁元卿<sup>3</sup> 庞庆华<sup>31</sup>

(1. 河海大学 低碳经济研究所, 江苏 常州 213022;

2. 江苏省“世界水谷”与生态文明协同创新中心, 江苏 南京 211100;

3. 河海大学 商学院, 江苏 常州 213022)

**【摘要】:** 考虑到湖泊水域面积与土地面积的相互变迁进程, 以及土地利用变化已成为仅次于化石能源燃烧的第二大温室气体排放源的客观现实, 首次尝试分析特定区域湖泊水域的变化以及间接产生的碳源碳汇影响。根据2005、2010和2015年遥感影像获取武汉市湖泊水域利用转变的数据, 采用国际通用的土地碳排放测算模型, 评估武汉市湖泊水域转变为4类用地产生的碳排放量及碳强度变化情况。研究显示: (1) 2005~2015年武汉市湖泊水域面积整体减少超10km<sup>2</sup>, 且2010年后呈现加速萎缩趋势, 2010~2015年的减少值约为2005~2010年减少值的2.04倍; (2) 虽然部分耕地、林地和草地转化为湖泊导致湖泊水域的增加, 但湖泊大面积转变为建设用地导致水域面积的显著减少; (3) 从碳排放总量来看, 变动面积区域内呈碳源区, 后5年碳源值是前5年的1.45倍; 前后5年湖泊水域变化的碳排放强度分别为0.03和0.04t/km<sup>2</sup>, 碳排放强度明显增加。针对武汉市湖泊水域利用的现实状况, 提出把“山水林田湖草”放到统一的管理机制中进行考虑、规范土地资源利用、限制建设用地过度扩张等措施。

**【关键词】:** 湖泊水域 土地利用 碳排放 武汉市

**【中图分类号】:** F062.1 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2020)02-0269-07

湖泊作为重要的自然资源和生态资源, 对区域水资源供给和生态环境多样性有着决定性作用, 同时对经济增长和生活福祉有着重要的支撑作用。但近年来随着城市化进程的突飞猛进, 许多区域出现“围湖垦殖”“围湖建房”和“填湖造路”等严重侵占湖泊水域的恶性事件。这种湖泊水域转变为各类用地的本质是人类追求自身生存空间和经济利益的实现手段, 但这同时造成了区域生态系统的恶化和碳排放规模的改变。人类的这种改造活动造成水源和植被等固碳能力的不断下降, 同时其间伴随的化石燃料的燃烧也释放出大量活动状态的碳<sup>[1]</sup>。诸如此类的湖泊水域的土地利用变化将重新定义“碳源区”与“碳汇区”, 并进而引起区域碳排放量、碳排放强度等方面一系列的生态负面效应<sup>[2, 3]</sup>。因此, 研究湖泊水域利用的转变过程及该过程中产生的碳排放情况, 对于区域经济社会、生态环境的可持续发展具有重要意义。

学者们对湖泊水域利用的研究经过了一个从定性分析到定量分析的转变过程。刚开始受限于测量技术的运用, 人们常常从宏观层面定性分析湖泊水域的变化对区域生态环境的影响。如张振克等<sup>[4]</sup>和蔡海生等<sup>[5]</sup>从人与自然的相互作用角度下分析湖泊水域面积不断缩小的原因, 强调湖泊水域面积缩小已成为国际需要高度关注的生态问题。随着遥感技术运用的成熟, 学者们纷纷利用气象卫星数据和土地遥感数据定量分析湖泊水域的变化过程, 如李晖等<sup>[6]</sup>; 徐娜等<sup>[7]</sup>。针对这种现象, 李宁等<sup>[8]</sup>剖析了时间异质性下

**作者简介:** 马海良(1979-), 男, 博士, 副教授, 主要从事水资源经济与环境规制方面的研究. E-mail: hilima@vip.sina.com

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(41301620); 中央高校业务基金项目(2019B22814)。

自然及人为因素对湖泊演变的影响,指出国内的“向荒湖进军,插秧插到湖中心”运动是湖泊水域改造的一次重大危险实践活动。然而无论是何种人为因素导致的水域变化,最终都是通过各类型的土地利用对生态环境产生影响。而具体到各类土地利用的碳排放问题,国内外学者进行了较为丰硕的研究,研究重点多集中在土地利用的碳排放估算、形成机理及其影响等方面<sup>[9~11]</sup>,且大部分学者都认同将 IPCC 编制的《国家温室气体清单指南》作为土地利用碳排放的评估依据。

梳理文献可以发现,学者们对水域利用面积的变化以及土地问题的碳排放问题进行了较为深入的研究,形成了较为规范的研究方法,这为我们的研究提供了很好的思路。但需要指出,尚未有学者就湖泊水域变化导致的碳排放影响进行测算。考虑到湖泊面积的变化与土地面积的相互变迁进程,我们尝试通过遥感卫星测算特定区域内湖泊转变为各类土地的具体面积,并结合各类土地的碳排放测算公式,开展对湖泊水域利用转变的碳源/碳汇估算,从而研究区域内的碳排放强度变化。武汉作为我国有名的“千湖之城”,其湖泊水域面积的变化最具有典型性,因此我们以武汉作为研究对象,测算武汉市 2005~2015 年湖泊面积的变化,并以此为基础估算该转变过程对武汉区域碳排放的影响,从而为武汉市政府制定更为科学、完善的湖泊保护政策提供理论支持。

## 1 研究区概况

武汉市隶属江汉平原,是中国中部地区最大的都市,其辖区范围为 113° 41' E~115° 05' E, 29° 58' N~31° 22' N,得益于山水交融的独特城市格局,武汉市素有“千湖之城”的雅称。根据文献记载,至 20 世纪中期,武汉市湖泊水域数量累计 218 个,其中郊区湖泊 91 个,湖泊水域总面积近 1170km<sup>2</sup>。然而近 30 年武汉湖泊面积减少了 228.9km<sup>2</sup>,50 年来近 100 个湖泊人间“蒸发”,中心城区仅存的 38 个湖泊,还面临着继续被侵蚀的危险<sup>[12]</sup>。本文将研究区范围定为武汉市中心城区及远城区共 13 个城区,行政区划范围在近年内没有较大变动。武汉市土地面积 8569.15km<sup>2</sup>,年平均气温 17.3℃左右,年平均降水量 150.83mm,雨热同期,降水充沛,2010 和 2015 年年末常住人口分别为 978.54、1060.77 万人,生产总值分别为 5565.93、10905.6 亿元,约为 2005 年的 2.46、4.86 倍<sup>[13]</sup>。

## 2 数据来源及计算方法

### 2.1 数据来源

依据国土资源部组织修订的国家标准《土地利用现状分类》(GB/T21010-2017),将土地利用类型分为耕地、林地、草地、湿地、建设用地 5 种。本研究采用的湖泊现状数据来源于武汉市 2005、2010 和 2015 年 3 期 LandSat 遥感影像。结合武汉市地形图和行政区规划图,对三期影像进行几何校正、配准及剪裁,并借助 ArcGIS10.3 软件进行交互式解译,其后制得武汉市湖泊水域土地利用现状图,具体见图 1 所示,其中湿地主要是指湖泊水资源用地。

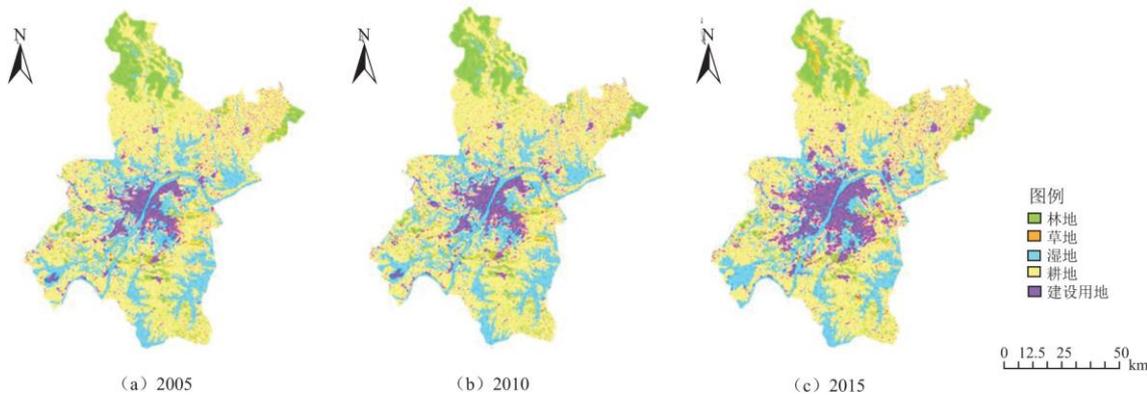


图 1 武汉市土地利用现状图

## 2.2 碳排放量计算方法

依据研究区域近况,将湖泊水域转变为用地类型主要分为建设用地、耕地、林地和草地 4 类。其中建设用地、耕地一般作为碳源处理,即向大气中排放二氧化碳;而林地、草地作为碳汇处理,即从大气中吸收二氧化碳。根据其他学者研究,耕地上种植的农作物可以产生  $\text{CH}_4$ , 同时又能吸收一定量的  $\text{CO}_2$ , 每平方米排放  $\text{CH}_4$  的量为  $42.9\text{g} \cdot \text{a}^{-1[14]}$ , 吸收  $\text{CO}_2$  的量为  $0.692\text{g} \cdot \text{a}^{-1[15]}$ , 因此耕地净碳排放系数为两数之差  $42.208\text{g} \cdot \text{a}^{-1}$ , 每公顷林地、草地的碳排放量分别为  $-57.7\text{t}$  和  $-0.022\text{t}^{[16]}$ ; 2005、2010 和 2015 年建设用地碳排放系数分别为  $6.62^{[17]}$ 、 $3.27^{[18]}$  和  $3.367\text{万 t} \cdot \text{km}^{-2[19]}$ 。汇总各类数据,碳排放公式为<sup>[20]</sup>:

$$E = \sum e_i = \sum T_i \times \delta_i \quad (1)$$

式中:  $E$  为碳排放总量;  $e_i$  为湖泊各转变利用类型对应产生的碳排放量;  $T_i$  为湖泊各转变利用类型对应的变动面积;  $\delta_i$  为湖泊各转变利用类型的碳排放系数。

## 2.3 碳排放强度计算

区域碳排放强度是指每单位 GDP 的增长所带来的碳排放量,结合本文研究对象,将湖泊水域转变的碳排放强度定义为武汉市湖泊水域变动单位面积上所承载的社会经济活动产生的碳排放量,其值越大表明该活动产生的碳排放越多,以此取得的经济附加值是以牺牲生态环境为代价的。参考已有的研究成果<sup>[21]</sup>,计算公式为:

$$C_p = \sum Ct_i / \sum S_i \quad (2)$$

式中:  $C_p$  为单位面积碳排放量;  $\sum Ct_i$  为各利用类型的碳排放量;  $\sum S_i$  为变动面积之和。

# 3 结果及分析

## 3.1 武汉市湖泊水域面积变化

对武汉市研究区域内的湖泊水域面积分别进行统计分析,结果显示 43 年来其湖泊水域的面积呈现明显变化,其中 1987~2003、2005~2013 年起伏趋势与相关文献保持一致<sup>[22]</sup>。由图 2 可以看出,1973~2015 年间武汉市湖泊水域面积呈总体下降趋势,总面积从  $1170.9\text{km}^2$  发展到  $855.9\text{km}^2$ , 减少了 26.9%, 最小值出现在 2009 年,为  $847.23\text{km}^2$ 。期间,1973 年至 1987 年湖泊水域面积迅速下降,随后波动明显,2005 年以后至 2015 年,湖泊面积相对趋于稳定,在  $847.23$  与  $870.05\text{km}^2$  区间内上下浮动,表明武汉市湖泊保护条例自 2002 年 3 月 1 日施行后初有成效,但从长远发展来看监管仍需加强。

对于远城区而言,武汉市远城区湖泊水域面积在研究时间段内的起始值为  $1021.96\text{km}^2$ , 1973~1987 年远城区湖泊水域面积急剧下降,间接显示该段时间内武汉市城市发展较为激进,对比文献[23]可以认为武汉早期为了更好的解决吃饭问题和城市建设用地,大幅度的实施“围湖垦殖”“围湖建房”运动;1987~2005 年远城区湖泊水域面积呈波浪式下降趋势,可推断该段时间内湖泊水域侵占问题得到关注,城市发展与护湖行动并存,而后湖泊水域面积趋于平缓,因此湖泊保护与城市发展可以协调兼顾。对于中心城区而言,湖泊水域面积变化较为平缓,其峰值为 1991 年的  $186.49\text{km}^2$ , 谷值为 2009 年的  $88.16\text{km}^2$ 。90 年代湖泊水域面积稍有波动,2000 年后较平缓下降,2010~2015 年略有回升,至 2015 年中心城区湖泊水域面积仅剩约  $100\text{km}^2$ , 湖泊水域面积整体下滑

了近 33%。

整体来说,在 1973~2015 年间,武汉市远城区湖泊水域面积的减少量大于中心城区,但远城区湖泊水域面积的下滑比例比中心城区湖泊水域面积的下滑比例小;武汉市湖泊水域面积的总体变化主要受远城区湖泊水域面积影响,两者变化趋势基本一致。

### 3.2 武汉市湖泊水域景观格局动态变化

根据遥感影像信息处理相关数据,可以较好观察武汉市湖泊水域景观格局动态变化情况。可以看出,耕地、林地、草地和建设用地都和湖泊产生互相转化关系,总体决定了湖泊水域面积的变化。

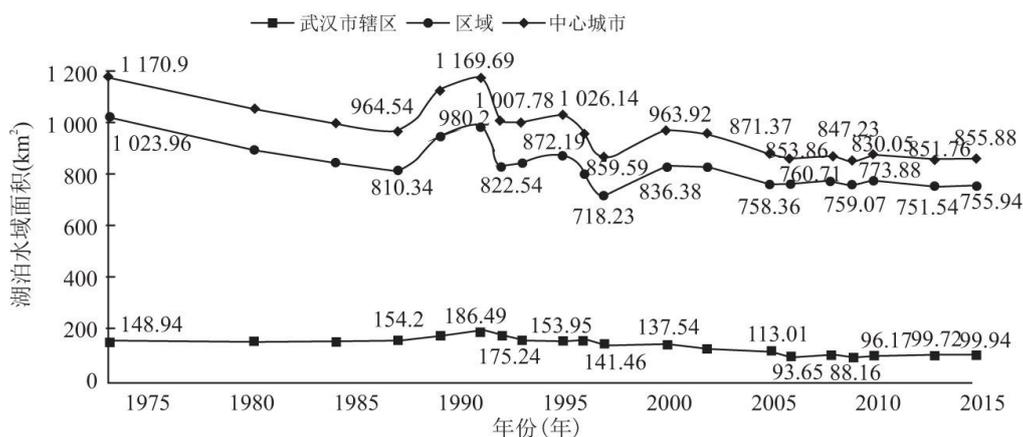


图 2 武汉市湖泊水域面积

2005~2010年间,除湿地外其他类型的土地转化为湖泊面积达到了 $9.17\text{km}^2$ 。其中耕地转为为湖泊的面积最大,达到了 $8.46\text{km}^2$ ,约占总体转化面积的 92.26%,建设用地转化为湖泊的面积为 $0.58\text{km}^2$ ,约占总体转化面积的 6.32%,而林地和草地转为湖泊的面积只约占了总体转化面积的 0.87%和 0.55%。与此对应的是,湖泊转化为各种类型的土地却呈现出不同情形。2005~2010年间湖泊转化为其他类型土地达到了 $11.98\text{km}^2$ ,其中转化为建设用地的面积最大,达到了 $9.5\text{km}^2$ ,约占总体转化面积的 79.29%,湖泊转化为耕地的面积为 $2.4\text{km}^2$ ,而转化为草地的面积为 $0.01\text{km}^2$ ,几乎可以忽略不计。综合这两种情况,可见 2005~2010年间武汉水域面积总体减少了 $2.81\text{km}^2$ ,虽然耕地、林地和草地都转化湖泊导致水域面积的增加,但由于湖泊转化为建设用地 $8.92\text{km}^2$ ,导致了湖泊面积的继续萎缩。

2010~2015年间武汉市水域面积继续呈现下降趋势,这 5 年期间湖泊面积总体减少了 $5.73\text{km}^2$ ,约为 2005~2010 年缩减面积 $2.81\text{km}^2$ 的 2.03 倍,这也说明武汉市保护湖泊工作任重道远。通过数据分析可知,2010~2015 年间其他类型土地转化为湖泊面积虽然达到了 $9.44\text{km}^2$ ,但湖泊转化为其他类型的土地面积却到了 $15.17\text{km}^2$ ,其中湖泊转化为建设用地的面积就达到了 $12.4\text{km}^2$ ,远远超过了转化为湖泊面积的总和。导致武汉水域面积变化的因素中,耕地、林地和草地继续为湖泊水域面积的增加做正向贡献,其中耕地转化为湖泊的面积达到了 $5.93\text{km}^2$ ,起到了主要作用。但由于我国耕地红线政策以及建设用地需求的猛烈增加,导致人们继续“围湖建房”,湖泊转化为建设用地的净面积就增加了 $11.75\text{km}^2$ 。

从这两个等距研究时段中可以看出,这 10 年间湖泊水域与建设用地和耕地的面积转化

总量较大,湖泊转化为耕地和建设用地是造成水域面积减少的主要原因,这个研究结论与陈海珍等学者的研究结果相一致<sup>[23]</sup>。(1)初期的围湖造田,此间大量湖泊水域转变为农用地,尤其是耕地,这与武汉市常住人口的增长有紧密联系;(2)城市化发展

引来的房地产开发热潮,使得湖泊进一步被侵蚀,水域面积大幅下降,大量住宅及交通建设用地侵占了大片湖泊水域,武汉市经济发展的同时湖泊资源遭到了严重破坏。尤其是近年来,随着中部崛起战略的实施,武汉市逐渐成为我国中部地区重要的战略中心城市,导致其工商业的快速发展以及房地产市场的火爆,建设用地需求得到进一步扩大。在此背景下,“围湖建房”和“填湖开发”导致湖泊面积得到进一步萎缩,且呈现加剧趋势。

### 3.3 湖泊利用转变的碳排放测度

湖泊水域与各种土地类型的转变过程引起了碳排放的变化,根据公式(1)和公式(2),结合武汉市2005~2015年湖泊水域面积的地理变化情况,可以测算出武汉市湖泊水域区域转变的碳排放量以及碳排放强度变化情况。

从碳排放总量来看,变动面积区域最终呈碳源区,2005~2010年间湖泊变动产生的碳排放量为27.23t,2010~2015年间湖泊变动产生的碳排放量为39.64t,后5年产生的碳排放量是前5年的1.45倍。结合上面的湖泊水域面积变化趋势,湖泊水域利用转变的碳排放主要来自与建设用地的转换,其次为林地,而草地和耕地对碳排放的影响微弱。2005~2010年间,湖泊水域转变为建设用地导致碳排放总量直接增加了272254kg,占总排放量的99.98%,2010~2015年间,湖泊水域转变为建设用地导致碳排放总量直接增加了396253kg,占总排放量的99.96%,因此,可以认为,武汉湖泊水源转变对建设用地直接导致了碳排放总量的增加,对生态环境的建设构成了巨大的挑战。

从碳排放强度来看,武汉湖泊水域面积的变化导致碳排放强度也呈现上升趋势,2005~2010年湖泊水域的碳排放强度为 $0.03\text{t}/\text{km}^2$ ,而2010~2015年湖泊水域的碳排放强度变为 $0.04\text{t}/\text{km}^2$ 。湖泊水域面积的变化导致碳排放强度上升的原因除了碳排放总量的增加以外,还有一个重要原因在于湖泊水域面积从2010年的 $870.05\text{km}^2$ 减少为2015年的 $855.88\text{km}^2$ 。另外,我们还注意到,湖泊水域变化为草地和耕地,对碳减排影响微弱,但湖泊水域转化为林地面积的缩小,导致林地固碳能力的发挥大幅度减少,从而间接导致碳排放量的增加。

## 4 结论和建议

### 4.1 结论

湖泊水域利用的变化引起区域碳排放量、碳排放强度等方面一系列的生态环境变化。通过研究近年来武汉市湖泊水域面积的变化过程以及湖泊水源与四类用地转换过程产生的碳排放量以及碳强度变化情况,得出以下结论:(1)1973~2015年间武汉市湖泊水域面积呈总体下降趋势,远城区湖泊水域利用变化的波动是影响武汉市整体湖泊水域面积的主导因素;(2)研究期内耕地、林地和草地与湖泊的相互转换导致了湖泊水源面积的增加,而湖泊与建设用地的转换导致了湖泊水源面积的大幅度减少;(3)2005~2010年间湖泊变动产生的碳排放量为27.23t,2010~2015年间湖泊变动产生的碳排放量为39.64t,同时导致碳排放强度也呈现上升趋势。

### 4.2 建议

习总书记用系统的观点强调“山水林田湖是一个生命共同体”,并认为自然资源的用途

管制和生态修复必须遵循自然规律。结合本文测算得到武汉市湖泊水域利用转变以及导致的碳排放变化数据,提出如下建议:

(1)坚持用系统的理念来看待武汉市湖泊水域利用转变的情况,把“山水林田湖”放到统一的管理机制中进行考虑。研究发现,武汉市湖泊水源与建设用地、耕地、林地等相互转变,共同构成生态系统。因此需要统一考虑,采取有效的激励措施鼓励居民

---

退田还湖、还林,积极增加碳汇能力,改善区域的生态环境。

(2) 积极利用“湖长制”等管理手段加强湖泊水域的管理,提高水资源的生态价值。研究发现武汉水域面积在过去的10多年来不断呈现缩小的趋势,为了加强水资源的管理,我们必须创新管理方式,通过遥感技术和物联网技术加强湖泊的动态监控、同时利用“河长制”和“湖长制”等多种手段提高管理绩效,从而创造出良好的水生态文明。

(3) 限制建设用地过渡扩张,规范土地资源的利用。湖泊转变为建设用地是湖泊碳排放增加的主要来源,在不妨碍武汉市城市发展的条件下,合理规划建设用地,规范产业发展对土地资源的利用,有节制地增加建设用地面积,协调经济、生态协同发展。

需要指出的是,本文虽然对2005年至2015年间武汉市湖泊水域利用变动的碳排放分两期进行了较为科学的估算,但碳排放量与土地利用、能源消费、经济发展水平及产业结构存在较复杂的关系,同时固碳能力与植被类型、生长状况等密切相关,因此需要结合生态学、植物学等相关科学,构建综合模型分析这些因素对碳排放的影响,该方面的研究将在以后得到进一步开展。

#### 参考文献:

- [1] 孙贤斌. 安徽省会经济圈土地利用变化的碳排放效益[J]. 自然资源学报, 2012, 27(3): 394-400.
- [2] GHAFFAR ALI, NATHSUDA PUMIJUMNONG, SHENGHUI CUI. Valuation and validation of carbon sources and sinks through land cover /use change analysis: The case of Bangkok metropolitan area[J]. Lake Use Policy, 2018 (1): 471-478.
- [3] 汪海涛, 沙茜, 余怡, 等. 城市化对湖泊生态环境的影响——以武汉市东湖、南湖为例[A]. 中国环境科学学会学术年会论文集, 2013: 5814-5820.
- [4] 张振克, 王苏民, 吴瑞金, 等. 中国湖泊水资源问题与优化调控战略[J]. 自然资源学报, 2001(1): 16-21.
- [5] 蔡海生, 张学玲, 黄宏胜. “湖泊-流域”土地生态管理的理念与方法探讨[J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 1049-1058.
- [6] 李晖, 肖鹏峰, 冯学智, 等. 近30年三江源地区湖泊变化图谱与面积变化[J]. 湖泊科学, 2010(6): 862-873.
- [7] 徐娜, 贾建华, 罗菊花, 等. 江苏省湖泊遥感监测及10年动态变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014(4): 468-574.
- [8] 李宁, 刘吉平, 王宗明. 2000-2010年东北地区湖泊动态变化及驱动力分析[J]. 湖泊科学, 2014(4): 545-551.
- [9] 张梅, 赖力, 黄贤金, 等. 中国区域土地利用类型转变的碳排放强度研究[J]. 资源科学, 2013, 35(4): 792-799.
- [10] 游和远, 吴次芳. 土地利用的碳排放效率及其低碳优化——基于能源消耗的视角[J]. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1875-1886.
- [11] 张俊峰, 张安录, 董捷. 武汉城市圈土地利用碳排放效应分析及因素分解研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 5(23): 595-602.
- [12] 武汉市水务局. 武汉湖泊志[M]. 湖北: 湖北美术出版社, 2014.

- 
- [13]武汉市统计局. 武汉统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2005~2015.
- [14]CAI ZU CONG, KANG GUO DING, H. TSURUTA, et al. Estimate of CH<sub>4</sub> Emissions form year-round flooded rice field during rice growing season in China[J]. *Pedosphere*, 2005, 15(1):66-71.
- [14]何勇. 中国气候、陆地生态系统碳循环研究[M]. 北京:气象出版社, 2006.
- [15]李颖, 黄贤金, 甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效益分析[J]. *农业工程学报*, 2008, 24:102-107.
- [16]张思齐, 陈银蓉. 城市建设用地扩张与能源消耗碳排放相关效应[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(1):244-249.
- [17]李小康, 王晓鸣, 华虹. 土地利用结构变化对碳排放的影响关系及机理研究[J]. *生态经济*, 2018, 34(1):14-19.
- [19]徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析:1995-2004[J]. *中国人口·资源与环境*, 2006, 1(6):158-161.
- [20]方精云, 郭兆迪, 朴师龙, 等. 1981-2000年中国陆地植被碳汇的估算[J]. *中国科学 D 辑*, 2007, 37(6):804-812.
- [21]JU X, XING G, CHEN X, et al. Reducing environmental risk by improving management in intensive Chinese agricultural systems[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106:3041-3046.
- [22]喻晓娟. 基于 Landsat 影像的 1987-2016 年武汉市湖泊面积动态变化分析[D]. 东华理工大学, 2018.
- [23]陈海珍, 石铁柱, 鄂国锋. 武汉市湖泊景观动态遥感分析(1973-2013 年)[J]. *湖泊科学*, 2015(4):745-754.