

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第6期

Vol.36 No.6

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

南京北郊春季气溶胶吸湿性分析	徐彬, 张泽锋, 李艳伟, 秦鑫, 缪青, 沈艳 (1911)
南京北郊秋冬季相对湿度及气溶胶理化特性对大气能见度的影响	于兴娜, 马佳, 朱彬, 王红磊, 严殊祺, 夏航 (1919)
南京北郊冬季霾天 PM _{2.5} 水溶性离子的污染特征与消光作用研究	周瑶瑶, 马嫣, 郑军, 崔芬萍, 王荔 (1926)
京津冀冬季大气混合层高度与大气污染的关系	李梦, 唐贵谦, 黄俊, 刘子锐, 安俊琳, 王跃思 (1935)
长江三角洲地区基于喷涂工艺的溶剂源 VOCs 排放特征	莫梓伟, 牛贺, 陆思华, 邵敏, 勾斌 (1944)
贵阳酸雨中溶解态重金属质量浓度及形态分析	朱兆洲, 李军, 王志如 (1952)
北京市火葬场大气污染物排放现状及污染特征	薛亦峰, 闫静, 田贺忠, 熊程程, 李敬东, 吴晓清, 王玮, 朱家昕 (1959)
北京市燃煤锅炉烟气中水溶性离子排放特征	胡月琪, 马召辉, 冯亚君, 王琛, 陈圆圆, 何明 (1966)
燃煤电厂湿烟卤降雨成因分析	欧阳丽华, 庄烨, 刘科伟, 陈振宇, 顾鹏 (1975)
Mn-Ce/分子筛的脱汞特性研究	谭增强, 牛国平, 陈晓文, 安振 (1983)
办公室内颗粒物载带溴系阻燃剂的人体呼吸暴露	李岫雯, 曾辉, 倪宏刚 (1989)
森林生物质燃烧烟尘中的有机碳和元素碳	黄柯, 刘刚, 周丽敏, 李久海, 徐慧, 吴丹, 洪蕾, 陈惠雨, 杨伟宗 (1998)
北京市常见落叶树种叶片滞纳空气颗粒物功能	王兵, 王晓燕, 牛香, 张维康, 汪金松 (2005)
气相中乙酸乙酯光解的光子效率: 波长和催化剂的影响	方雪慧, 赵洁, 舒莉, 高永, 叶招莲 (2010)
长江口邻近海域赤潮水体浮游植物光吸收特性分析	刘洋洋, 沈芳, 李秀珍 (2019)
深圳近岸海域全氟化合物的污染特征	刘宝林, 张鸿, 谢刘伟, 刘国卿, 王艳萍, 王鑫璇, 李静, 董炜华 (2028)
杭州西湖“香灰土”沉积物轻、重有机质组成特征及其环境意义	李静, 朱广伟, 朱梦圆, 龚志军, 许海, 杨桂军 (2038)
小清河表层沉积物重污染区重金属赋存形态及风险评价	黄莹, 李永霞, 高甫威, 徐民民, 孙博, 王宁, 杨健 (2046)
调水型水库藻类对调水氮、磷浓度与水量的响应	万由鹏, 尹魁浩, 彭盛华 (2054)
三峡库区回水区营养盐和叶绿素 a 的时空变化及其相互关系	张磊, 蔚建军, 付莉, 周川, Douglas G. Haffner (2061)
藻华聚集的环境效应: 对漂浮植物水葫芦光合作用的影响	包先明, 顾东祥, 吴婷婷, 石祖良, 刘国锋, 韩士群, 周庆 (2070)
巢湖沉积物有效磷的原位高分辨分析研究	李超, 王丹, 杨金燕, 王燕, 丁士明 (2077)
贵州施秉白云岩喀斯特区水化学和溶解无机碳稳定同位素特征	肖时珍, 蓝家程, 袁道先, 王云, 杨龙, 敖向红 (2085)
长沙地区不同水体稳定同位素特征及其水循环指示意义	李广, 章新平, 张立峰, 王跃峰, 邓晓军, 杨柳, 雷超桂 (2094)
元阳梯田水源区土壤水氢氧同位素特征	张小娟, 宋维峰, 吴锦奎, 王卓娟 (2102)
植草沟控制道路径流污染效果的现场实验研究	黄俊杰, 沈庆然, 李田 (2109)
Fe/Cu 催化还原降解饮用水中溴氯乙腈的性能研究	丁春生, 马海龙, 傅洋平, 赵世督, 李东兵 (2116)
三维花状结构 α -FeOOH 协同 H ₂ O ₂ 可见光催化降解双氯芬酸钠	许俊鸽, 李云琴, 黄华山, 苑宝玲, 崔浩杰, 付明来 (2122)
UV/H ₂ O ₂ 降解羟苯甲酮反应动力学及影响因素	冯欣欣, 杜尔登, 郭迎庆, 李华杰, 刘翔, 周方 (2129)
钼掺杂 TiO ₂ 光催化降解全氟辛酸	刘晴, 喻泽斌, 张睿涵, 李明洁, 陈颖, 王莉, 匡瑜, 张搏, 朱有慧 (2138)
低频无极灯降解偶氮染料酸性橙 7	吴朋, 吴军, 高士祥, 孙成, 蒋正方 (2147)
纳米 Fe ₃ O ₄ /CeO ₂ -H ₂ O ₂ 非均相类 Fenton 体系对 3,4-二氯三氟甲苯的降解	孙正男, 杨琦, 纪冬丽, 郑琳 (2154)
流变相法制备包覆型 CMC-Fe ⁰ 及降解水中 TCE 的研究	樊文井, 成岳, 余淑贞, 范小丰 (2161)
Pd-Fe/石墨烯多功能催化阴极降解 4-氯酚机制研究	祁文智, 王凡, 王辉, 施钦, 逢磊, 卞兆勇 (2168)
锰氧化物改性硅藻土对苯胺的去除动力学与机制	肖少丹, 刘露, 姜理英, 陈建孟 (2175)
铅-十六烷基三甲基氯化铵改性活性炭对水中硝酸盐和磷酸盐的吸附特性	郑雯婧, 林建伟, 詹艳慧, 王虹 (2185)
聚(丙烯酸酰胺-二乙烯基苯)对水溶液中刚果红的吸附	张变变, 廖运文, 高和军, 王忠志, 帅超 (2195)
大型再生水厂不同污水处理工艺的能耗比较与节能途径	杨敏, 李亚明, 魏源送, 吕鑑, 郁达伟, 刘吉宝, 樊耀波 (2203)
污泥水热液化水相产物中氮元素变化规律的研究	孙衍卿, 孙震, 张景来 (2210)
不同接种污泥 ABR 厌氧氨氧化的启动特征	张海芹, 王翻翻, 李月寒, 陈重军, 沈耀良 (2216)
基于微波-过氧化氢-碱预处理的污泥水解影响因素	贾瑞来, 魏源送, 刘吉宝 (2222)
蠡河底泥中反硝化复合菌群富集及菌群结构研究	雍佳君, 成小英 (2232)
不同类型及不同浓度抗生素条件下活性污泥丝状菌种群多样性分析	王润芳, 王琴, 张红, 齐嵘 (2239)
石油降解菌的分离鉴定及 4 株芽胞杆菌种间效应	王佳楠, 石妍云, 郑力燕, 王喆, 蔡章, 刘杰 (2245)
Sheewanella oneidensis MR-1 对针铁矿的还原与汞的生物甲基化	司友斌, 孙林, 王卉 (2252)
根表铁氧化物胶膜对水稻吸收诺氟沙星的影响	马微, 鲍艳宇 (2259)
不同耕作措施对旱作夏玉米田土壤呼吸及根呼吸的影响	禄兴丽, 廖允成 (2266)
城市区域近地表灰尘及重金属沉降垂向季节变化	李晓燕, 张舒婷 (2274)
中山市农业区域土壤-农产品中邻苯二甲酸酯 (PAEs) 污染特征	李彬, 吴山, 梁金明, 梁文立, 陈桂贤, 李拥军, 杨国义 (2283)
经口摄入土壤多溴联苯醚生物可给性变化及影响因素的体外消化模拟	张云惠, 刘伟健, 程芳芳, 熊冠男, 杨笑寒, 王歆, 陶澍, 邢宝山, 刘文新 (2292)
生物炭输入对土壤本底有机碳矿化的影响	陈威, 胡学玉, 陆海楠 (2300)
改良剂对广西环江强酸铅锌污染土壤的修复作用	曾伟铨, 宋波, 袁立竹, 黄宇妃, 伏凤艳 (2306)
蒙脱石-OR-SH 复合体材料对土壤镉的钝化及机制	曾燕君, 周志军, 赵秋香 (2314)
焦岗湖湿地土地利用格局演变及区域可持续性评价	杨阳, 蔡怡敏, 白艳莹, 陈卫平, 杨秀超 (2320)
《环境科学》征订启事 (1965) 《环境科学》征稿简则 (2115) 信息 (1925, 2076, 2084, 2146)	

焦岗湖湿地土地利用格局演变及区域可持续性评价

杨阳¹, 蔡怡敏¹, 白艳莹^{2*}, 陈卫平¹, 杨秀超³

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 3. 淮南市毛集区科技局, 淮南 232181)

摘要:以焦岗湖湿地为研究区,选取1995~2013年间5期遥感影像数据,应用土地利用变化测度模型分析研究区土地利用变化特征,并结合社会统计数据构建可持续性测评体系,对研究区可持续发展水平进行量化分析。结果表明:①研究区旱地、水田、建筑用地为主导景观,1995~2000年和2010~2013年为土地利用变化热点时段,但驱动机制不同;②近20 a尺度上建筑用地变化最为明显(增幅为123.32%),湿地萎缩面积较大(减幅为23.15%),空间格局层次单一,存在一定土地利用风险;③区域可持续发展水平各时段评价结果分别为差、差、中、良、中,仍有较大提升空间;④2010年随着区域生产力的提高和区域稳定性的增强,研究区可持续发展水平较好,2010年后由于环境负荷的进一步累积,区域受胁迫度升高,可持续发展水平受阻,应引起决策者和公众的广泛重视。

关键词:湿地土地利用;可持续性;区域;综合评价;模型

中图分类号: X22 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)06-2320-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2015.06.054

Land Use Pattern Change and Regional Sustainability Evaluation of Wetland in Jiaogang Lake

YANG Yang¹, CAI Yi-min¹, BAI Yan-ying^{2*}, CHEN Wei-ping¹, YANG Xiu-chao³

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 3. Science & Technology Bureau of Maoji District, Huainan 232181, China)

Abstract: Changes in land use and sustainability evaluation of wetland in Jiaogang Lake from 1995 to 2013 were analyzed, based on the land use change models and an index system, supported by RS, GIS, and social statistical data. The results showed: ① dry land, paddy field, and building land were the predominant landscape in the study area. The arable land was mainly converted during 1995-2000, which was driven by the extension of agriculture, and the building land increased significantly during 2010-2013, which was driven by the tourism development. ② Compared to the beginning research area, the building land increased by 123.3%, and the wetland decreased by 23.15%. The land system was at risk for a low proportion of wetland, scarcity of unused land, and the fragmented landscape. ③ The regional sustainability results were bad level, bad level, poor level, good level, and poor level during the different periods, with some room for improvement. ④ The fitness of regional sustainability in study area yielded satisfactory results in 2010, owing to the rapid growth of regional productivity and the regional stability. Since 2010, with the increasing environmental load, the regional sustainability fell down to the poor level. The obstruction of sustainable development is necessary to be addressed in the study area.

Key words: wetland land use; sustainability; region; comprehensive evaluation; model

湿地景观功能多样,生态服务价值(气候调节、生物多样性维持,生态平衡维护等)巨大,是维持地圈、生物圈以及痕量气体释放与水循环所需大量物质流与能量流的源和汇^[1,2]。作为一个典型的巨大耗散结构体系,湿地生态系统结构功能复杂,受人为影响显著^[3],其土地利用格局变化在时间尺度上表现为不同景观的演替过程 and 变化规律,在空间尺度上则表现出不同景观格局和组合模式^[4,5],这种异质性变化不仅对系统物质迁移和能量流动影响深刻,对区域生物和地理生态过程也产生了巨大的环境效应^[6,7]。当前学者们对湿地格局变化的研究多遵循“压力-状态-响应(PSR)”的三段式研究范

式^[8],研究地集中于经济发达区域,研究重心为湿地水质变化,土地利用格局演变,湿地变化驱动力构成及权重大小,或随着尺度上推,探索驱动机制变化情况与发展阶段等方面^[9~11]。对于能够直接反映湿地生态系统健康运转,区域自然-社会-经济耦合系统可持续性的长时间动态性研究相对较少。本研究利用土地变化测度模型从不同时间、空间尺度探究湿地土地利用格局变化特征,并根据可持续性的生

收稿日期: 2014-11-19; 修订日期: 2014-12-29

基金项目: 安徽省科技攻关项目(1301042120)

作者简介: 杨阳(1990~),男,博士研究生,主要研究方向为生态风险评价, E-mail: yangyang_st@rcees.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: baiyy@igsrr.ac.cn

态学^[12]理念,构建区域可持续性评价体系,对湿地生态系统可持续发展水平进行量化分析,以期对湿地综合管理和可持续规划提供科学依据,对其他生态系统可持续性研究也有借鉴作用。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

焦岗湖湿地位于淮北平原,地理位置 $116^{\circ}20' \sim 116^{\circ}42' \text{ E}$, $32^{\circ}33' \sim 32^{\circ}44' \text{ N}$,流域面积 497 km^2 ,是淮河中游最大的生态湿地,辖区内湿地、煤炭、生物资源丰富,被誉为“安徽白洋淀^[13]”(图 1)。近年来,以湿地资源为依托,研究区建成“国家湿地公园”,“可持续发展示范区”,“生态旅游观光区”等绿色产业,有效的推动了当地生态文明建设及经济发展的进程。然而随着人口增长,旅游开发及部分乡镇工业的发展,焦岗湖湿地景观变化剧烈,湖泊富营养化日趋严重,湿地服务功能退化,人地关系矛盾上升,区域可持续性受到当地政府及民众的广泛关注^[14]。

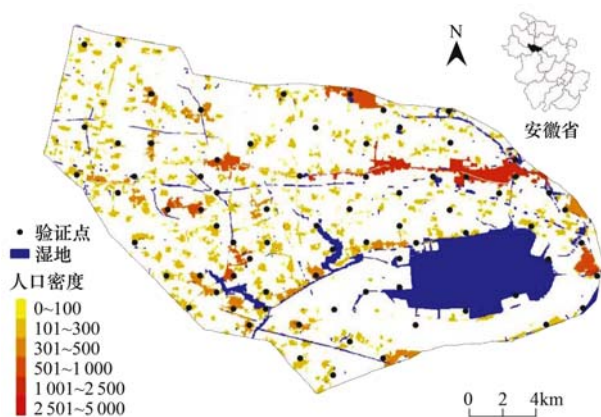


图 1 研究区概况及验证点分布

Fig. 1 Research area and distribution of verification point stations

1.2 土地利用时空变化动态模型

引入动态变化中“流^[15]”的概念来表示土地利用变化[流入(F_{in})和流出(F_{out})]的矢量属性。土地转移流流量(F_t)和流变程度采用单一土地利用动态度^[9][K ,研究时段(T 、 a)内土地转移净值(F_n)占初期该土地利用类型面积(A)比重]和综合土地利用动态^[9](L_s ,区域各地类转出流与 2 倍研究初期地类面积的百分比)表示,公式分别为:

$$F_t = F_{in} + F_{out} \quad (1)$$

$$F_n = F_{in} - F_{out} \quad (2)$$

$$K = F_n/A_i \times 1/T \times 100\% \quad (3)$$

$$L_s = \sum_{i=1}^n F_i/2A \times 100\% \quad (4)$$

土地转移流程度大小及变化特征采用土地系统信息熵 H_i ^[15]、土地转移程度综合指数 I_j ^[16]和土地转移程度变化指数 I_{b-a} ^[16]表示,公式为:

$$H_i = - \sum_{i=1}^n (F_i/2A) \times \log(F_i/2A) \quad (5)$$

$$I_j = 100 \times \sum_{i=1}^n W_i \times C_i \quad (6)$$

$$\Delta I_{b-a} = (I_b - I_a) = 100 \times \left[\sum_{i=1}^n W_i \times C_{ib} - \sum_{i=1}^n W_i \times C_{ia} \right] \quad (7)$$

式中, W_i 为分级指数^[16], C_i 为研究区内 i 级土地利用程度面积百分比, C_{ib} 和 C_{ia} 分别为 b 、 a 时间 i 级土地利用程度面积百分比。

1.3 区域可持续性评价体系构建

由于近年来研究区受城市化影响显著,具有区别于自然湿地的显著特征,同时考虑湿地管理的便利性,以集水区范围划分研究区域^[11](集水区范围通过 ArcGIS 10.0 对淮南市 30 m 分辨率的 DEM 数据进行水文分析,并结合 1:50 000 地形图校正后获取)。

生态系统的健康运行是指其景观网络在适应性和多样性逐步提高的过程中系统内关键景观和有机组分保存完整,物质流与能量流循环有序,并对长期或突变的自然及人为扰动造成的代谢耗散保持弹性和稳定性^[6,12]。而传统的可持续性评价手段倾向于短时间、小尺度的经济指标^[6],忽视了湿地格局变化影响下区域社会发展、环境负荷、资源禀赋等非线性过程变化结点,易造成指标信息量缺失,评价结果不够客观^[3]。基于此,本研究在参考国内外研究进展^[2,8,10]的基础上,结合当地区域景观特征构建区域可持续性评价体系,用区域生产力(权重为



各模块面积大小为其所在系统权重

图 2 区域可持续性评价体系

Fig. 2 System structure of evaluation index of regional sustainability

0.347 8)、区域受胁迫度(权重为0.321 1)和区域稳定性(权重为0.331 1)3个子系统衡量和分析研究区可持续发展水平和存在风险. 测评体系包括1个目标层,3个决策层和12个准则层(图2),各子系统权重通过 Delphi 法^[6]确定.

区域生产力^[17]可反映区域景观的生产能力水平,包括湿地生态系统服务能力^[18]、水资源承载力^[19]、土地利用经济效益和土地生产潜力这4个方面. 其中湿地生态系统服务能力采用湿地单位面积产值(C1)表示;土地利用经济效益采用地均工农业产值(C3)表示;考虑到农业机械总动力与农业生产力关系密切,可在一定程度上代表农业现代化程度^[17],因此采用地均农业机械总动力表示研究区土地生产潜力(C4).

区域受胁迫度^[5,9]指人类扰动对区域景观的胁迫程度,用于对不良代谢因子的识别. 受胁迫度越高,景观网络负荷越大,区域持续性越差. 可分为景观危机触发值,人口负荷,土地系统负荷和水体负荷4方面. 引入社会物理学中“系统和谐^[20]”理念,即区域景观熵增达到可以跃迁的能量储备时,便会在“危机触发值”的点燃下,引发不同尺度的景观无序化和劣质化^[20],对系统“危机触发值”的度量就能对区域生态系统退化趋势做出有效判断和预测,因此选取不同系统劣质化因子进行加权求和来表示湿地景观危机触发值(C5);水体负荷采用湖泊富营养化水平^[6](C6)表示;复种指数^[21](耕种面积/耕地总面积)可有效反映土地利用效率及研究区光、热、水、气等自然资源状况,因此使用逆向指标复种率

(C7)(耕地总面积耕/种面积)衡量土地系统负荷大小,复种率越高,土地系统负荷越大;人口负荷采用人口密度表示(C8).

区域稳定性^[12,22]可反映区域景观对外界扰动的反应能力和自我调控能力,包括土地利用变化剧烈程度、景观异质性水平、景观多样性水平和地表透水功能这4个方面. 其中土地利用变化剧烈程度采用土地转移程度综合指数^[16](C9)表示;景观聚集度(C10)和景观多样性指数(C11)可有效反映区域景观异质性和多样性格局^[22,23];地表透水功能强弱是体现湿地生态功能价值,维持地域水循环及其他物质和能量循环的基础^[12,24],可用度量地表景观组成格局的自然度指数^[24](C12)来表示.

运用 Delphi 法^[6]进行指标筛选和调整,并通过 Pearson 相关分析($P < 0.05$)对重复指标进行剔除,所选具体指标见表1. 湿地单位面积产值、水资源承载力、湖泊富营养化水平、景观聚集度、景观多样性和景观自然度等模型计算方法分别参看文献[18,19,21~24]. 按不同模型要求计算准则层各指标得分,标准化后进行加权求和即为相应决策层及目标层得分(目标层计算时对景观受胁迫度得分进行逆向转换^[3]). 各指标权重通过 Delphi 法^[6]结合层次分析模型^[3]获取(表1). 应用模糊数学模型^[25]对目标层进行综合评价. 结合相关文献建议值将指标评价等级标准划分为很差(0.1,Ⅰ级)、差(0.3,Ⅱ级)、中(0.5,Ⅲ级)、良(0.7,Ⅳ级)、优(0.9,Ⅴ级)5级. 应用梯形隶属函数建立评价矩阵,评价结果为评价矩阵与指标层权重权重的线性相乘^[25].

表 1 可持续性评价指标体系

Table 1 Index system of regional sustainability evaluation			
决策层	准则层	权重	指标层
区域生产力 B1	湿地单位面积产值(C1)	0.241 6	研究区各年禽蛋产量/t、水产养殖面积/hm ² 、单位面积粮食产量/t、及其相应市场价格/元、区域人均工资/元、区域各年接待游客人数/万人、区域天然年径流量/m ³
	水资源承载力(C2)	0.335 2	灌溉率/%、生态用水率/%、水资源利用率/%、人均供水量/m ³ ·人 ⁻¹ 、水资源开发程度/%、供水量模数 ^[25] /10 ⁴ m ³ ·km ⁻² 、需水量模数 ^[25] /10 ⁴ m ³ ·km ⁻²
	地均工农业产值(C3)	0.136 4	第一产业产值/亿元、第二产业产值/亿元、研究区域总面积/km ²
	地均机械总动力(C4)	0.286 8	机械总动力/万 kW、区域总面积/km ²
区域受胁迫度 B2	湿地景观危机触发值(C5)	0.387 2	碳排放强度/t、废水排放量/t、废气排放量/t、固体废弃物排放量/t、环境投诉事件件数/件、单位 GDP 能耗/吨标煤/万元、单位 GDP 水耗/立方米/万元、自然灾害发生次数/次、自然灾害损失/万元、亿元 GDP 造成生产安全事故死亡率/%
	湖泊富营养化水平(C6) ¹⁾	0.275 0	TN/μg·L ⁻¹ 、TP/μg·L ⁻¹ 、SD(透明度)/cm、COD/mg·L ⁻¹ 、Chl-a(叶绿素)/mg·m ⁻³
	复种率(C7)	0.198 0	农作物播种面积/km ² 、耕地总面积/km ²
	人口密度(C8)	0.139 8	区域内人口数/人、研究区域总面积/km ²
区域稳定性 B3	土地利用变化程度(C9)	0.287 4	i 级土地利用程度分级指数 ^[16] ,第 i 级的土地利用程度面积百分比/%
	景观聚集度(C10)	0.200 8	相邻景观类型 i 、 j 的共同边界长度/km,不同景观边界间的总长度/km
	景观多样性(C11)	0.221 7	不同景观要素类型占总面积百分比/%
	景观自然度(C12)	0.290 1	不同景观类型面积/km ² ,不同景观类型透水系数 ^[20]

1) 1995 和 2000 年湖泊水质未检测 Chl-a 和 SD

1.4 数据分析

土地利用数据采用 1995、2000、2005、2010 和 2013 年 5 期 TM 影像数据(轨道号为 122/37,均为 5~7 月夏季时相),利用 ENVI 4.8 对影像进行校正和转换后,在 ArcGIS 10.0 软件中参照文献[26]划分为旱地、湿地、水田、建筑用地和未利用地这 5 类,并选取 76 个典型特征点进行验证(图 1)。

景观聚集度计算采用 Fragstats 软件。社会统计数据来自各年份《安徽省统计年鉴》、《淮河片水资源公报》、《淮南市统计年鉴》、《淮南水资源公报》、《毛集实验区志》和《毛集区统计公报》。原数据根据各自模型要求进行不同量化处理,Pearson 相关分析和数据线性拟合采用 SPSS 17.0,水资源承载力、景观危机触发值及模糊综合评价应用 Matlab 7.0 进行计算。

2 结果与讨论

2.1 土地利用空间格局分析

研究区各时段土地利用类型分布状况如图 3

(a)所示,整体符合典型的“斑块-廊道-基质”景观格局^[12,15]。其中未利用地和建筑用地成团块状分布,隶属于湿地景观格局中的“斑块”^[15]。未利用地主要分布在研究区中部,在 1995~2000 年大幅流出,其余各时段变化不大,近 20 a 尺度上净流出 32.02 km²,减幅达到 99.54% [图 4(a)]。建筑用地在 1995~2000 年和 2010~2013 年出现两个扩张期,扩张幅度分别为 34.48% 和 28.07%,前一个扩张时段景观分布比较分散,后一个扩张时段呈“突变式”增长,扩张重心向研究区中东部迁移(新政府所在地),近 20a 尺度上净流入 49.14 km² [图 4(a)],增幅达到 123.32%。湿地(湖泊、河流、滩涂)呈带状分布,为研究区景观系统的“廊道”^[15],主要分布在东南部。湿地在 2000~2005 年和 2005~2010 年两个时段内明显减少,减幅为 7.96% 和 14.73%,2013 年湿地面积略有回升,但流入量不大(1.05 km²),整体减幅 23.15%。水田和旱地是构成湿地景观的“基质”^[15],并作为研究区连接性较好、面积最大的两种景观要素类型。其中水田主要分布在中

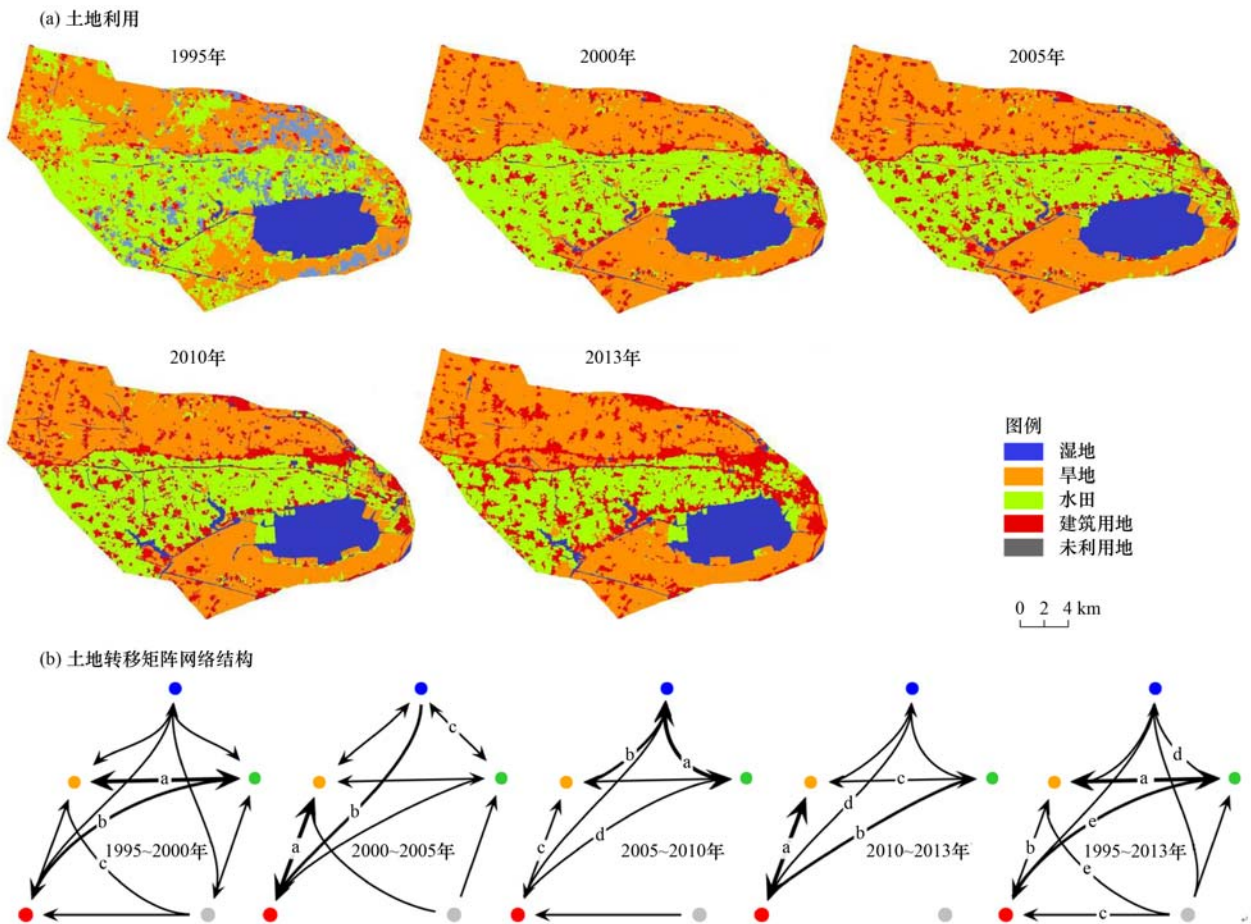


图 3 不同尺度土地利用空间变化特征

Fig. 3 Land-use pattern of ecosystem in the study area at different scales

部,在区域各地类中转移幅度最大,在 1995 ~ 2005 年大幅流出 (从 189.69 ~ 134.09 km², 幅度 29.31%),2005 ~ 2010 年后净流入 2.54 km²,之后再次流出 13.57 km²,18 a 尺度上减幅为 35.13% [图 4(a)];旱地是区域各地类中比重最大的景观类型(42.35%),呈两段式(北部和南部)分布,1995 ~ 2000 年大幅流入,流量比占到当年净流量的 42.16%,之后开始持续减少,到 2013 年旱地面积减少至 194.8 km².

研究区在近 20 a 年尺度上共存在 16 种土地利用转移关系,不同地类转移比重及转移量各有差异 [图 3(b)]. 其中各时段转移比重较大的土地利用类型(用 a、b、c、d、e 等依次表示)和转移关系数量分别为:1995 ~ 2000 年为水田、旱地、建筑用地,共有 16 种转移关系,2000 ~ 2005 年为旱地、湿地、建筑用地,共有 13 种转移关系,2005 ~ 2010 年为旱地、湿地、水田,共有 13 种转移关系,2010 ~ 2013 年为旱地、水田、建筑用地,共有 12 种转移关系,1995 ~ 2013 年为水田、旱地、建筑用地,共有 16 种转移关系. 水田、旱地、建筑用地为研究区土地利用变化主导地类. 近 20 a 年尺度上水田转移净流值达到 66.63 km²(流出),占转移流贡献率 29.04%,主要汇流用地类型为旱地(48.63%)和建筑用地

(31.42%);旱地转移净流值为 65.69 km²(流入),流入源用地类型主要为水田(50.87%)、裸地(35.13%)和湿地(13.10%). 建筑用地集聚特征最为明显,各尺度均有地类流入,流入源主要为水田、旱地和湿地.

2.2 土地利用动态变化特征分析

图 4(b)为研究区不同时段内各地类的土地利用动态度,水田在 2005 ~ 2010 年、旱地在 1995 ~ 2000 年动态度为正值,其他时段这两种用地类型均为负向变化,农业发展是基质景观变化主要驱动因素. 湿地在 2010 ~ 2013 年动态度为正值,其他时段为负向变化,以 2005 ~ 2010 变化最为显著(-2.95%),旅游开发和农业发展为“廊道”景观萎缩的主要驱动因素. 建筑用地各时段动态度均为正向递增,以 1995 ~ 2000 年(5.75%)和 2010 ~ 2013 年(9.36%)变化最为显著. 未利用地各时段动态度均为负向变化,1995 ~ 2000 年变化程度剧烈(-15.25%),其他时段变化不大.

综合土地利用动态度(L_s)变化呈先减少后增加的趋势[图 4(c)],其中 1995 ~ 2000 年和 2010 ~ 2013 年为两个明显的增长峰. 湿地土地系统信息熵(H)变化与综合动态度变化类似[图 4(c)],1995 ~ 2000 年熵值较高,土地系统活动剧烈,2000 ~ 2010

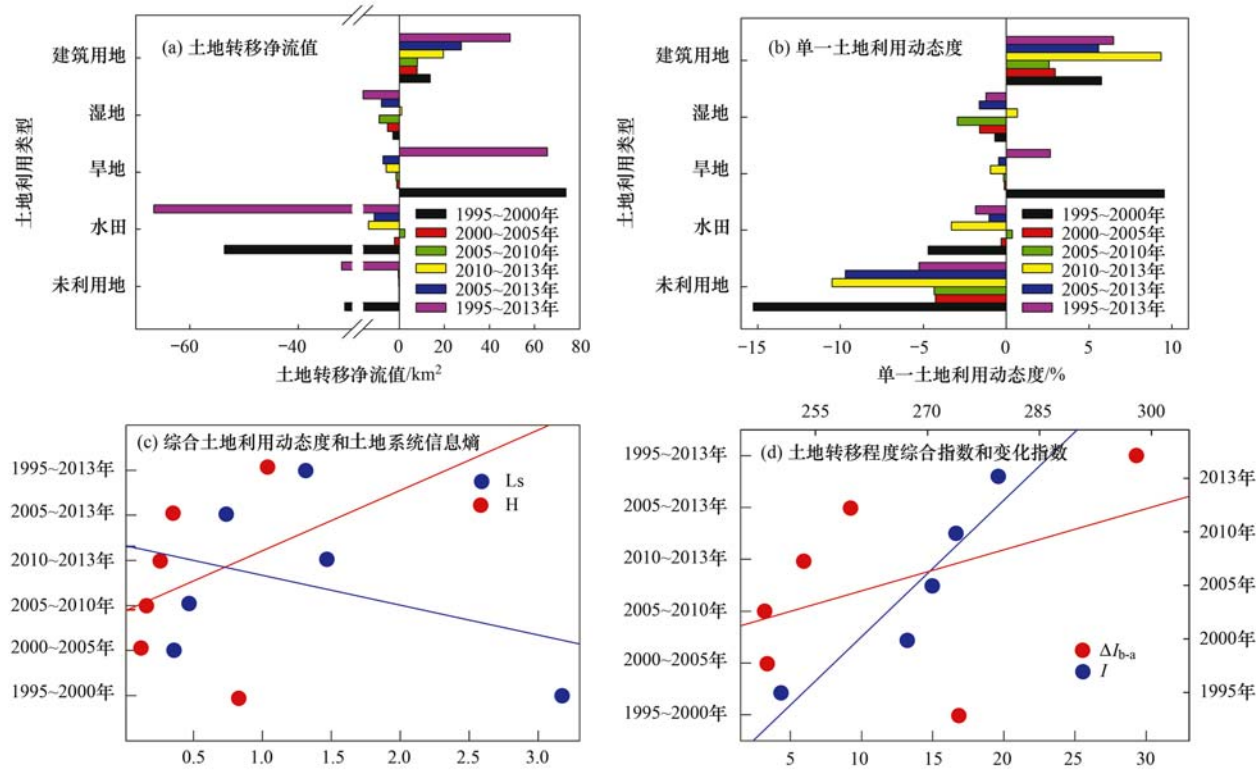


图 4 不同尺度土地利用格局动态变化
Fig. 4 Dynamic change of land-use at different scales

年熵值下降,土地利用系统渐趋稳定,有序性增强. 2010 年后熵值再度回升,土地系统受人为干扰程度增加系统劣质化程度加快. 研究区土地利用程度变化指程度与 L_s 和 H 变化类似[图 4(d)],5 个时相的土地利用程度综合指数分别为 250.4、267.3、270.6、273.8 和 279.7,呈逐年增长趋势[图 4(d)],说明焦岗湖湿地土地利用的深度和广度不断增大,但与极限值($I_{\max} = 400$)^[16]相比,研究区土地利用程度仍隶属中等水平. 综合以上指标可以看出 1995~2000 年研究区土地利用变化剧烈,区域人类活动对土地系统干扰程度较高,主要表现为耕地和建筑用地的扩张,2000~2010 年,随着湿地景观结构调整和功能优化,湿地生态系统抗逆性增强,但土地利用效率不高. 2010 年后,由于建筑用地的“突变式”增长使土地系统变化剧烈程度再次提升. 当前研究区土地利用程度较为稳定,但生态服务功能性用地比例偏低,土地后备资源稀缺,且由于规划不合理,大量投资开发土地闲置,土地资源浪费较为严

重,存在一定生态风险.

2.3 区域可持续性评价

评价体系各指标计算结果如图 5 所示,近 20 a 尺度上各评价指标变化差异较大. 区域生产力系统(B1)中 C1~C4 均成线性增长关系($R^2, 0.927 \sim 0.967$),以 C1 和 C3 增加最为明显,增幅分别为 161.23% 和 144.75%,对该系统影响最大的 C2 (权重为 0.3352)先增大后减小,整体增幅 119.10%. 景观受胁迫度系统(B2)中, C7 呈线性减少趋势($R^2 = 0.852$), C8 为线性增长($R^2 = 0.798$)趋势,其他两项指标增长趋势线性拟合结果较差($R^2, 0.061 \sim 0.239$);对该系统影响较大的 C5 (权重为 0.3872)先减小再升高,2010 年数值为各时段最低,2013 年升至最高. 景观稳定性系统(B3)中, C9 呈线性增加趋势($R^2 = 0.870$), C10 呈线性减少趋势($R^2 = 0.963$), C11 线性拟合效果较差($R^2 = 0.372$),呈逐年减小趋势, C12 各时段变化不大($R^2 = 0.067$).

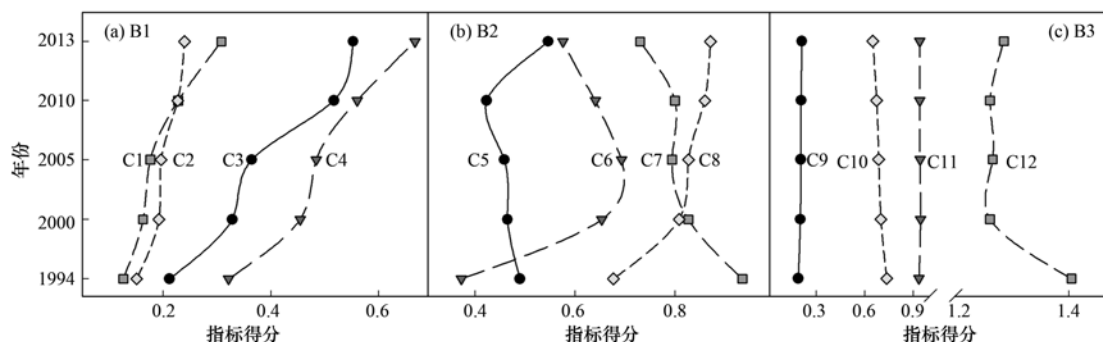


图 5 各子系统指标可持续性动态变化

Fig. 5 Dynamic changes of sustainability level for each subsystem indicator

研究区各时段可持续性得分和隶属等级依次为 0.289 2(差, II 级隶属)、0.350 4(差, II 级隶属)、0.534 4(中, III 级隶属)、0.612 3(良, IV 级隶属)和 0.574 1(中, III 级隶属). 1995~2000 年,研究区正处于发展初期^[13],不合理的土地利用规划和大规模的低效率垦田导致景观格局熵变剧烈,自然、半自然景观强烈分割,同时由于水利设施落后,灾害频发,区域受胁迫度高,稳定性差,可持续发展水平低下. 2000~2005 年土地系统变化程度降低,社会、经济发展水平略有提高,由于研究区发展主题仍不明确,自然-社会-经济耦合系统协调度低,振荡明显,区域生产力提升缓慢,系统抗逆性差. 2005~2010 年,研究区以“因地制宜,减灾消贫,绿色发展,提升观念”^[13]为发展模式,环境绩效逐步上升,区域景观格局片段化现象改善,系统对外界干扰及内部的涨落

基本稳定,经济效率上升显著,研究区可持续性大幅提高. 但湿地面积的萎缩,环境负荷的提升,污染积累的放大效应也导致了少量生态异常现象出现. 2010~2013 年,随着经济的快速发展,建筑用地呈“突变式”扩张,研究区景观趋向单一化,破碎化. 在政策导向下,湿地面积在 2010 年后略有回升[图 3(a)],但缺乏空间层次的单一湿地格局并不能很好发挥湿地生态系统服务功能. 虽然该时段区域经济水平提升迅速,但随着湿地环境质量的下降,区域生产力降低,受胁迫增高,可持续发展活力受阻,应引起决策者和公众的广泛重视.

3 结论

旱地、水田和建筑用地的转移关系决定着焦岗湖湿地土地变化特征. 不同尺度下土地系统稳定程

度不一,20 a 尺度上呈先增加后减小趋势. 可持续性评价结果显示近 20 a 尺度上,研究区在环境绩效、社会和谐和经济活力这 3 个方面取得了不错的成绩,但也对区域生态环境产生了一定的负外部效应. 2010 年后,湿地生态系统环境负荷的增大和区域受胁迫度的攀升导致研究区可持续发展活力受阻. 面对新的驱动因素(生态旅游)和发展模式(生态文明),优化土地利用格局、提升景观多样性,培育生态资源禀赋是推进该地可持续发展的主要措施. 建立的评价体系可完整、系统、连续的表征研究区可持续发展水平,也可为其他生态系统可持续性研究提供借鉴.

参考文献:

- [1] Kayranli B, Scholz M, Mustafa A, *et al.* Carbon storage and fluxes within freshwater wetlands: a critical review [J]. *Wetlands*, 2010, **30**(1): 111-124.
- [2] Sims A, Zhang Y Y, Gajaraj S, *et al.* Toward the development of microbial indicators for wetland assessment [J]. *Water Research*, 2013, **47**(5): 1711-1725.
- [3] Herath G. Incorporating community objectives in improved wetland management: the use of the analytic hierarchy process [J]. *Journal of Environmental Management*, 2004, **70**(3): 263-273.
- [4] Dong H Y, Qiang Z M, Li T G, *et al.* Effect of artificial aeration on the performance of vertical-flow constructed wetland treating heavily polluted river water [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2012, **24**(4): 596-601.
- [5] Gutzwiller K J, Flather C H. Wetland features and landscape context predict the risk of wetland habitat loss [J]. *Ecological Applications*, 2011, **21**(3): 968-982.
- [6] Vo Q T, Kuenzer C, Vo Q M, *et al.* Review of valuation methods for mangrove ecosystem services [J]. *Ecological Indicators*, 2012, **23**: 431-446.
- [7] Daniel D W, Smith L M, Haukos D A, *et al.* Land use and conservation reserve program effects on the persistence of playa wetlands in the high plains [J]. *Environmental Science & Technology*, 2014, **48**(8): 4282-4288.
- [8] Walmsley J J. Framework for measuring sustainable development in catchment systems [J]. *Environmental Management*, 2002, **29**(2): 195-206.
- [9] Gao Y, Su F Z, Sun X Y, *et al.* A study on spatial and temporal variations of coastal wetland in Pearl River Estuary [A]. In: 2010 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) [C]. Honolulu, HI: IEEE, 2010. 429-432.
- [10] 李玉凤, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 湿地水环境健康评价方法及案例分析 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(2): 346-351.
- [11] 郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 等. 南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究 [J]. *环境科学*, 2012, **33**(7): 2259-2264.
- [12] 傅伯杰. 生态系统服务与生态安全 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2013. 128-137.
- [13] 中国可持续发展研究会. 里约之新——国际可持续发展新格局、新问题、新对策 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2012. 128-137.
- [14] 王健, 张靖天, 咎逢宇, 等. 中国东部浅水湖泊沉积物总氮总磷基准阈值研究 [J]. *生态环境学报*, 2014, **23**(6): 992-999.
- [15] 马彩虹, 任志远, 李小燕. 黄土台塬区土地利用转移流及空间集聚特征分析 [J]. *地理学报*, 2013, **68**(2): 257-267.
- [16] Liu J Y, Liu M L, Zhuang D F, *et al.* Study on spatial pattern of land-use change in China during 1995-2000 [J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2003, **46**(4): 373-384.
- [17] 祝伟民. 基于小波神经网络的区域景观生态评价研究 [D]. 南京: 南京农业大学, 2008. 55-76.
- [18] 王凤珍, 周志翔, 郑忠明. 城郊过渡带湖泊湿地生态服务功能价值评估——以武汉市严东湖为例 [J]. *生态学报*, 2011, **31**(7): 1946-1954.
- [19] 王海峰, 胡吉敏, 李春燕. 淮河流域水资源承载力综合评价 [J]. *人民长江*, 2010, **41**(6): 53-57.
- [20] Glymour L. Social science and social physics [J]. *Behavioral Science*, 1983, **28**(2): 126-134.
- [21] 韩永伟, 高吉喜, 乔青. 中东部地区土地利用与土地退化特征分析 [J]. *环境科学研究*, 2005, **18**(6): 94-98.
- [22] 王娟, 崔保山, 刘世梁, 等. 各等级道路网对纵向岭谷区景观结构健康的影响 [J]. *环境科学学报*, 2008, **28**(2): 261-268.
- [23] 黄金良, 李青生, 洪华生, 等. 九龙江流域土地利用/景观格局-水质的初步关联分析 [J]. *环境科学*, 2011, **32**(1): 64-72.
- [24] Ingegnoli V. Landscape Analysis. In *Landscape Ecology: A Widening Foundation* [M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2002. 169-196.
- [25] Wang X J, Zou Z H, Zou H. Water quality evaluation of Haihe River with fuzzy similarity measure methods [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, **25**(10): 2041-2046.
- [26] GB/T 21010-2007, 中国遥感解译分类标准 [S].

CONTENTS

Hygroscopic Properties of Aerosol Particles in North Suburb of Nanjing in Spring	XU Bin, ZHANG Ze-feng, LI Yan-wei, <i>et al.</i> (1911)
Effects of Relative Humidity and Aerosol Physicochemical Properties on Atmospheric Visibility in Northern Suburb of Nanjing	YU Xing-na, MA Jia, ZHU Bin, <i>et al.</i> (1919)
Pollution Characteristics and Light Extinction Effects of Water-soluble Ions in PM _{2.5} During Winter Hazy Days at North Suburban Nanjing ...	ZHOU Yao-yao, MA Yan, ZHENG Jun, <i>et al.</i> (1926)
Characteristics of Winter Atmospheric Mixing Layer Height in Beijing-Tianjin-Hebei Region and Their Relationship with the Atmospheric Pollution	LI Meng, TANG Gui-qian, HUANG Jun, <i>et al.</i> (1935)
Process-based Emission Characteristics of Volatile Organic Compounds (VOCs) from Paint Industry in the Yangtze River Delta, China	MO Zi-wei, NIU He, LU Si-hua, <i>et al.</i> (1944)
Concentrations and Speciation of Dissolved Heavy Metal in Rainwater in Guiyang, China	ZHU Zhao-zhou, LI Jun, WANG Zhi-ru (1952)
Situation and Characteristics of Air Pollutants Emission from Crematories in Beijing, China	XUE Yi-feng, YAN Jing, TIAN He-zhong, <i>et al.</i> (1959)
Emission Characteristics of Water-Soluble Ions in Fumes of Coal Fired Boilers in Beijing	HU Yue-qi, MA Zhao-hui, FENG Ya-jun, <i>et al.</i> (1966)
Analysis on Mechanism of Rainout Carried by Wet Stack of Thermal Power Plant	OUYANG Li-hua, ZHUANG Ye, LIU Ke-wei, <i>et al.</i> (1975)
Removal Characteristics of Elemental Mercury by Mn-Ce/molecular Sieve	TAN Zeng-qiang, NIU Guo-ping, CHEN Xiao-wen, <i>et al.</i> (1983)
Indoor Exposure to Particle-Bound BFRs via Inhalation	LI Xiu-wen, ZENG Hui, NI Hong-gang (1989)
Organic Carbon and Elemental Carbon in Forest Biomass Burning Smoke	HUANG Ke, LIU Gang, ZHOU Li-min, <i>et al.</i> (1998)
Atmospheric Particle Retaining Function of Common Deciduous Tree Species Leaves in Beijing	WANG Bing, WANG Xiao-yan, NIU Xiang, <i>et al.</i> (2005)
Photonic Efficiency of Ethyl Acetate Photolysis in Gas Phase: Dependence on Wavelength and Catalyst	FANG Xue-hui, ZHAO Jie, SHU Li, <i>et al.</i> (2010)
Phytoplankton Light Absorption Properties During the Blooms in Adjacent Waters of the Changjiang Estuary	LIU Yang-yang, SHEN Fang, LI Xiu-zhen (2019)
Pollution Characteristics of Perfluorinated Compounds in Offshore Marine Area of Shenzhen	LIU Bao-lin, ZHANG Hong, XIE Liu-wei, <i>et al.</i> (2028)
Composition and Environmental Effects of LFOM and HFOM in "Incense-Ash" Sediments of West Lake, Hangzhou, China	LI Jing, ZHU Guang-wei, ZHU Meng-yuan, <i>et al.</i> (2038)
Speciation and Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments from the Heavily Polluted Area of Xiaoqing River	HUANG Ying, LI Yong-xia, GAO Fu-wei, <i>et al.</i> (2046)
Response of Algae to Nitrogen and Phosphorus Concentration and Quantity of Pumping Water in Pumped Storage Reservoir	WAN You-peng, YIN Kui-hao, PENG Sheng-hua (2054)
Temporal and Spatial Variation of Nutrients and Chlorophyll a, and Their Relationship in Pengxi River Backwater Area, Three Gorges Reservoir	ZHANG Lei, WEI Jian-jun, FU Li, <i>et al.</i> (2061)
Environmental Effects of Algae Bloom Cluster: Impact on the Floating Plant Water Hyacinth Photosynthesis	BAO Xian-ming, GU Dong-xiang, WU Ting-ting, <i>et al.</i> (2070)
<i>In Situ</i> High-Resolution Analysis of Labile Phosphorus in Sediments of Lake Chaohu	LI Chao, WANG Dan, YANG Jin-yan, <i>et al.</i> (2077)
Hydrochemistry and Dissolved Inorganic Carbon Stable Isotope of Shibing Dolomite Karst Area in Guizhou Province	XIAO Shi-zhen, LAN Jia-cheng, YUAN Dao-xian, <i>et al.</i> (2085)
Stable Isotope Characteristics in Different Water Bodies in Changsha and Implications for the Water Cycle	LI Guang, ZHANG Xin-ping, ZHANG Li-feng, <i>et al.</i> (2094)
Characteristics of Hydrogen and Oxygen Isotopes of Soil Water in the Water Source Area of Yuanyang Terrace	ZHANG Xiao-juan, SONG Wei-feng, WU Jin-kui, <i>et al.</i> (2102)
Performance of Grass Swales for Controlling Pollution of Roadway Runoff in Field Experiments	HUANG Jun-jie, SHEN Qing-ran, LI Tian (2109)
Performance Study of Bromochloroacetonitrile Degradation in Drinking Water by Fe/Cu Catalytic Reduction	DING Chun-sheng, MA Hai-long, FU Yang-ping, <i>et al.</i> (2116)
Catalytic Degradation of Diclofenac Sodium over the Catalyst of 3D Flower-like α -FeOOH Synergized with H ₂ O ₂ Under Visible Light Irradiation	XU Jun-ge, LI Yun-qin, HUANG Hua-shan, <i>et al.</i> (2122)
Degradation of Organic Sunscreens 2-hydroxy-4-methoxybenzophenone by UV/H ₂ O ₂ Process: Kinetics and Factors	FENG Xin-xin, DU Er-deng, GUO Ying-qing, <i>et al.</i> (2129)
Photocatalytic Degradation of Perfluorooctanoic Acid by Pd-TiO ₂ Photocatalyst	LIU Qing, YU Ze-bin, ZHANG Rui-han, <i>et al.</i> (2138)
Efficient Photolysis of Acid Orange 7 Using Low-frequency Electrodeless Lamp	WU Peng, WU Jun, GAO Shi-xiang, <i>et al.</i> (2147)
Degradation of 3,4-Dichlorobenzotrifluoride by Fe ₃ O ₄ /CeO ₂ -H ₂ O ₂ Heterogeneous Fenton-Like Systems	SUN Zheng-nan, YANG Qi, JI Dong-li, <i>et al.</i> (2154)
Preparation of Coated CMC-Fe ⁰ Using Rheological Phase Reaction Method and Research on Degradation of TCE in Water	FAN Wen-jing, CHENG Yue, YU Shu-zhen, <i>et al.</i> (2161)
Degradation Mechanism of 4-Chlorophenol on a Pd-Fe/graphene Multifunctional Catalytic Cathode	QI Wen-zhi, WANG Fan, WANG Hui, <i>et al.</i> (2168)
Removal Kinetics and Mechanism of Aniline by Manganese-oxide-modified Diatomite	XIAO Shao-dan, LIU Lu, JIANG Li-ying, <i>et al.</i> (2175)
Adsorption Characteristics of Nitrate and Phosphate from Aqueous Solution on Zirconium-Hexadecyltrimethylammonium Chloride Modified Activated Carbon	ZHENG Wen-jing, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (2185)
Removal Congo Red from Aqueous Solution Using Poly (AM-co-DVB)	ZHANG Luan-luan, LIAO Yun-wen, GAO He-jun, <i>et al.</i> (2195)
Energy Consumption Comparison and Energy Saving Approaches for Different Wastewater Treatment Processes in a Large-scale Reclaimed Water Plant	YANG Min, LI Ya-ming, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (2203)
Transformation Regularity of Nitrogen in Aqueous Product Derived from Hydrothermal Liquefaction of Sewage Sludge in Subcritical Water	SUN Yan-qing, SUN Zhen, ZHANG Jing-lai (2210)
Start-up Performance of ANAMMOX Enrichment with Different Inoculated Sludge in Anaerobic Baffled Reactor	ZHANG Hai-qin, WANG Fan-fan, LI Yue-han, <i>et al.</i> (2216)
Influencing Factors for Hydrolysis of Sewage Sludge Pretreated by Microwave-H ₂ O ₂ -OH Process	JIA Rui-lai, WEI Yuan-song, LIU Ji-bao (2222)
Enrichment and Characterization of a Denitrifying Bacteria Consortium from Lihe River's Sediment	YONG Jia-jun, CHENG Xiao-ying (2232)
Investigation for Filamentous Bacteria Community Diversity in Activated Sludge Under Various Kinds and Concentration Conditions of Antibiotics	WANG Run-fang, WANG Qin, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (2239)
Isolation and Identification of Petroleum Degradation Bacteria and Interspecific Interactions Among Four <i>Bacillus</i> Strains	WANG Jia-nan, SHI Yan-yun, ZHENG Li-yan, <i>et al.</i> (2245)
Effects of Dissimilatory Reduction of Goethite on Mercury Methylation by <i>Shewanella oneidensis</i> MR-1	SI You-bin, SUN Lin, WANG Hui (2252)
Effect of Root Iron Plaque on Norfloxacin Uptake by Rice	MA Wei, BAO Yan-yu (2259)
Effects of Tillage on Soil Respiration and Root Respiration Under Rain-Fed Summer Corn Field	LU Xing-li, LIAO Yun-cheng (2266)
Seasonal Provincial Characteristics of Vertical Distribution of Dust Loadings and Heavy Metals near Surface in City	LI Xiao-yan, ZHANG Shu-ting (2274)
Characteristics of Phthalic Acid Esters in Agricultural Soils and Products in Areas of Zhongshan City, South China	LI Bin, WU Shan, LIANG Jin-ming, <i>et al.</i> (2283)
Variations and Influencing Factors of Oral Bioaccessibility of Polybrominated Diphenyl Ethers in Soils Using an <i>In-vitro</i> Gastrointestinal Model	ZHANG Yun-hui, LIU Wei-jian, CHENG Fang-fang, <i>et al.</i> (2292)
Impacts of Biochar Input on Mineralization of Native Soil Organic Carbon	CHEN Wei, HU Xue-yu, LU Hai-nan (2300)
Effects of Remedies on the Remediation of Typical Pb and Zn-contaminated soil in Huanjiang, Guangxi	ZENG Wei-quan, SONG Bo, YUAN Li-zhu, <i>et al.</i> (2306)
Mechanism Study of the Smectite-OR-SH Compound for Reducing Cadmium Uptake by Plants in Contaminated Soils	ZENG Yan-jun, ZHOU Zhi-jun, ZHAO Qiu-xiang (2314)
Land Use Pattern Change and Regional Sustainability Evaluation of Wetland in Jiaogang Lake	YANG Yang, CAI Yi-min, BAI Yan-ying, <i>et al.</i> (2320)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年6月15日 第36卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 6 Jun. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧 阳 自 远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行