ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第37卷 第2期

Vol.37 No.2

2016

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版

双效期刊

环境科学
(HUANJING KEXUE)
ENVIRONMENTAL SCIENCE
第37卷 第2期
2016年2月15日

目 次

编者按 …… (403)
我国化学品的风险评价及风险管理 …… 王铁宇,周云桥,李奇锋,吕永龙(404)
土地利用回归模型在大气污染时空分异研究中的应用 …… 吴健生,谢舞丹,李嘉诚(413)
中国2000~2010年生态足迹变化特征及影响因素 …… 黄宝荣,崔书红,李颖明(420)
关中地区冬季$PM_{2.5}$中碳气溶胶的污染特征及来源解析 …… 田鹏山,曹军骥,韩永明,张宁宁,张蓉,刘随心(427)
利用SPAMS研究南宁市冬季单颗粒气溶胶化学成分 …… 刘慧琳,宋红军,陈志明,黄炯丽,杨俊超,毛敬英,李宏姣,梁桂云,莫招育(434)
南京夏季市区VOCs特征及O_3生成潜势的相关性分析 …… 杨笑笑,汤莉莉,张运江,母应峰,王鸣,陈文泰,周宏仓,花艳,江蓉馨(443)
北京城区气传花粉季节特征及与气象条件关系 …… 孟龄,王效科,欧阳志云,任玉芬,王巧环(452)
重庆市垃圾焚烧厂汞的分布特征与大气汞排放因子研究 …… 段振亚,苏海涛,王凤阳,张磊,王书肖,余斌(459)
三峡库区腹地大气微量金属干湿沉降特征 …… 张六一,刘源,乔保清,付川,王欢博,黄怡民,杨复沫(466)
长沙近地面水汽中稳定同位素的监测与分析 …… 谢宇龙,章新平,姚天次,黄煌(475)
青藏高原内陆典型冰川区"冰川-径流"汞传输过程 …… 孙学军,王康,郭军明,康世昌,张国帅,黄杰,丛志远,张强弓(482)
西藏湖泊沉积物重金属元素特征及生态风险评估 …… 郭泌汐,刘勇勤,张凡,侯居峙,张宏波(490)
坦噶尼喀湖东北部入湖河流沉积物重金属分布特征与生态风险评价 …… 余成,陈爽,张路(499)
近百年来新疆博斯腾湖多环芳烃的组成及变化特征 …… 沈贝贝,吴敬禄,赵中华,曾海鳌,金苗(507)
舟山青浜岛不同环境介质中PAHs的分布特征 …… 郑煌,邢新丽,顾延生,桂福坤,祁士华,黄焕芳(513)
模拟排水沟渠非点源溶质氮迁移实验研究 …… 李强坤,宋常吉,胡亚伟,彭聪,马强,姜正曦,琚艺萌(520)
中田河流域景观异质性对水体总氮浓度影响研究 …… 王晶萍,李兆富,刘红玉,王刚,辛强(527)
江西香溪流域干湿季交替下底泥氮释放机制及其对流域氮输出的贡献 …… 韩宁,郝卓,徐亚娟,高扬,于贵瑞(534)
巢湖水体氮磷营养盐时空分布特征 …… 奚姗姗,周春财,刘桂建,吴蕾,王培华(542)
合肥城郊典型农田溪流水系统沉积物磷形态及释放风险分析 …… 裴婷婷,李如忠,高苏蒂,罗月颖(548)
桑沟湾表层沉积物性质及对磷的吸附特征 …… 朱佳美,曹晓燕,刘素美,王丽莎,杨桂朋,葛成凤,路敏(558)
苏州市古城区降雨径流颗粒物粒径分布及污染物赋存形态 …… 李淮,吴玮,田永静,黄天寅(565)
洪泽湖有毒和无毒微囊藻丰度及其与环境因子之间的相关分析 …… 李大命,张彤晴,唐晟凯,段翠兰,杨俊虎,穆欢,刘小维(573)
三峡库区消落带水体CDOM中电荷转移配合物对其紫外-可见吸收光谱的影响 …… 江韬,梁俭,张慕雪,王定勇,魏世强,卢松(580)
pH对高锰酸钾氧化降解苯胺类化合物动力学的影响 …… 王辉,孙波,关小红(588)
EDTA对Pd/Fe体系还原脱氯2,4-D的影响 …… 周红艺,聂亚中,陈勇,雷双健(595)
镍铝层状氧化物薄膜电极的制备及其除盐性能 …… 王婷,朱春山,胡承志(602)
微生物对砷的氧化还原竞争 …… 杨婷婷,柏耀辉,梁金松,霍旸,王明星,袁林江(609)
处理水产养殖污水潜流湿地中的厌氧氨氧化菌群特征 …… 曾宪磊,刘兴国,吴宗凡,时旭,陆诗敏(615)
污水回用中主要病原菌解析及其紫外消毒效应 …… 景明,王磊(622)
异养硝化-好氧反硝化菌*Burkholderia* sp. YX02强化连续流反应器中微生物群落结构解析 …… 邵基伦,曹刚,李紫惠,黄郑郑,罗恺,莫测辉(630)
基于新一代测序技术的A^2O与BIOLAK活性污泥宏基因组比较分析 …… 田美,刘汉湖,申欣(638)
1株海洋异养硝化-好氧反硝化菌的分离鉴定及其脱氮特性 …… 孙庆花,于德爽,张培玉,林学政,李津(647)
纳米Ni/Fe用于去除染料生产废水二级生物处理出水中AOX和色度的研究 …… 舒小铭,徐灿灿,刘锐,赵远,陈吕军(655)
3BER-S工艺用于再生水深度脱氮同步去除PAEs的可行性 …… 徐鹏程,郝瑞霞,张娅,王冬月,钟丽燕,徐浩丹(662)
合成时间对钛酸盐纳米材料的影响及其吸附水中铅的性能研究 …… 范功端,陈丽茹,林茹晶,林茜,苏昭越,林修咏(668)
芦苇秸秆生物炭对水中菲和1,1-二氯乙烯的吸附特性 …… 吴晴雯,孟梁,张志豪,罗启仕,杨洁(680)
芦苇基和污泥基生物炭对水体中诺氟沙星的吸附性能 …… 张涵瑜,王兆炜,高俊红,朱俊民,谢超然,谢晓芸(689)
季节性温度升高对落干期消落带土壤氮矿化影响 …… 林俊杰,张帅,刘丹,周斌,肖晓君,马慧燕,于志国(697)
增温及秸秆施用对冬小麦田土壤呼吸和酶活性的影响 …… 陈书涛,桑琳,张旭,胡正华(703)
基于GIS的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征 …… 王幼奇,白一茹,王建宇(710)
不同产地硅藻土原位控制土壤镉污染差异效应与机制 …… 朱健,王平,林艳,雷明婧,陈仰(717)
紫色土对邻苯二甲酸二甲酯的淋溶吸持特征及影响因素 …… 王强,宋娇艳,曾微,王法(726)
几种修复措施对Cd淋失及土壤剖面运移影响 …… 刘孝利,曾昭霞,铁柏清,陈求稳,魏祥东(734)
河北邯郸钢铁冶炼区周边麦田土和小麦籽粒的多环芳烃含量及其组分谱特征 …… 吴迪,汪宜龙,刘伟健,陈源琛,付晓芳,陶澍,刘文新(740)
湿生环境中丛枝菌根(AM)对香蒲耐Cd胁迫的影响 …… 罗鹏程,李航,王曙光(750)
溴酸盐对水生生物的急性毒性效应 …… 王执伟,刘冬梅,张文娟,崔福义(756)
自组装哑铃状Fe_3O_4微/纳米材料对十溴联苯的热催化降解 …… 黄鑫辰,宗刚,刘烨煊,芦会杰,李倩倩,李宾克,赵彦辉,苏贵金(765)
盐度对准好氧矿化垃圾生物反应器渗滤液处理及N_2O产生的影响 …… 李卫华,孙英杰,刘子梁,马强,杨强(775)
污泥直接干化尾气中恶臭污染物质重要性评价:以指标权重评分法为例 …… 丁文杰,陈文和,邓明佳,罗辉,李琳,刘俊新(782)

《环境科学》征订启事(557) 《环境科学》征稿简则(594) 信息(419,442,781)

中国 2000～2010 年生态足迹变化特征及影响因素

黄宝荣[1],崔书红[2*],李颖明[1]

(1. 中国科学院科技政策与管理科学研究所,北京 100190; 2. 环境保护部环境工程评估中心,北京 100012)

摘要: 以 2000 年全球平均生产力为衡量标准,核算了 2000～2010 年我国生态足迹,并分析了其动态变化特征和社会经济影响因素. 结果表明,2000～2010 年我国生态足迹由 17.69 亿 gha 增加到 32.59 亿 gha,年均增长 6.30%; 碳足迹是 10 年间增长最快的生态足迹类型,由 7.42 亿 gha 增加到 18.05gha,年均增长 9.29%; 耕地足迹的净增幅也较大,由 6.78 亿 gha 增加到 8.91 亿 gha; 林地、草地、渔业和建设用地足迹的净增幅相对较小. 2000～2010 年我国人均生态足迹由 1.40 gha 增加到 2.43gha,尽管仍低于世界平均水平,但已远超我国人均生态承载力,并造成严重的生态赤字,危及我国生态安全. 全国生态足迹的急剧增加主要受人均生态足迹的快速增长驱动,而经济增长和城镇化所带来的人均消费的产品和服务的快速增长是我国人均生态足迹快速增长的主要驱动力; 同时,国际贸易中资源密集型产品的大量出口也是驱动我国生态足迹快速增长的重要驱动因素. 如果不采取有效的控制措施,按照发达国家人均生态足迹的演变规律,随着我国由中等收入向高收入国家迈进,人均生态足迹将进一步快速增长,我国生态赤字将进一步加剧.

关键词:生态足迹; 生态赤字; 动态变化; 驱动力; 可持续发展

中图分类号: X171.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 0250-3301(2016)02-0420-07 **DOI**: 10.13227/j.hjkx.2016.02.003

Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010

HUANG Bao-rong[1], CUI Shu-hong[2*], LI Ying-ming[1]

(1. Institute of Policy and Management, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China; 2. Appraisal Center for Environment and Engineering, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100012, China)

Abstract: According to global average land productivities in 2000, this study calculated ecological footprint (EF) in China from 2000 to 2010, and analyzed its dynamic characteristics and socio-economic driving forces. The results showed that the total EF in China increased from 1.769 to 3.259 billion global hectares (gha) from 2000 to 2010, and its annual growth rate was 6.30%. Carbon Footprint was the fastest growth type of EF. It increased from 0.742 to 1.805 billion gha, and its annual growth rate was 9.29%. The net increase of cropland Footprint was also large in comparison to other types of Footprint. It increased from 0.678 to 0.891 billion gha. Per capita EF in China increased from 1.40 to 2.43 gha in this period. Although it was still below the world average level, it was far beyond per capita ecological carrying capacity in China, which led to serious ecological deficit and severe ecological crisis in China. The fast growth of per capita EF was the main driving force for the growth of total EF in China during the study period. Further, the growth of per capita EF was positively influenced by the growth of per capita consumption of products and severs, which was driven by economic growth and urbanization. Meanwhile, a large amount of exports of resource-intensive products in international trade was also an important driving force for EF growth. According to the evolution route of per capita EF in developed countries, along with China moving from middle-income to high-income country, per capita EF will maintain rapid growth, and ecological deficit in China will further exacerbate.

Key words:ecological footprint; ecological deficit; dynamic evolution; driving force; sustainable development

生态足迹是衡量人类对地球可再生自然资产需求的有效工具. 任何区域的生态足迹是生产该区域人口所消费的所有可再生自然资源和吸纳这些人口所产生的所有废弃物所需要的生物生产性土地面积[1～3]. 地球表面的生态生产性土地依据生产力的大小可分成 6 个部分:建筑用地、水域、牧地、林地、耕地和碳汇用地. 生态足迹表示人类对上述类型土地提供的生态产品与生态服务的需求量. 生态足迹核算为人们判断人类对生态系统的消费是否可持续提供了有效工具,能够为我国自然资源可持续利用、生态系统可持续管理和生态文明建设提供支撑. 自 1992 年由加拿大生态经济学家 Rees 和 Wackernagel 提出以来,生态足迹的概念和核算方法在全球[4～6]、国家[7～10]、区域[11～13]多个尺度得到

收稿日期: 2015-03-20; **修订日期**: 2015-09-08

基金项目: 全国生态环境十年(2000-2010 年)变化遥感调查与评估项目(STSN-04-05); 中国科学院科技政策与管理研究所“一三五”规划重大任务项目(Y201131Z05); 国家自然科学基金项目(40901300)

作者简介: 黄宝荣(1977～), 男,博士,副研究员,主要研究方向为环境政策与管理、可持续发展战略,E-mail: huangbaorong@casipm.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: cui6312@aliyun.com

广泛应用，核算方法也得到不断修改和完善[14]，形成了包括综合法[1]、组分法[15]、基于生命周期核算法[16]、基于投入产出分析核算法[17]、基于净初级生产力核算法[18]、基于能值核算法[19]等在内的核算方法体系. 但不同的核算方法所获得的核算结果存在较大差异，不具有可比性，制约着生态足迹核算理论和方法的进一步推广和应用. 在 Wackernagel 倡议下成立的全球足迹网络(global footprint network, GFN)一直致力于生态足迹核算方法的标准化，建立了国家生态足迹账户计算方法(2010 版)[20, 21]，为世界各国采取标准化核算方法核算可比较的生态足迹提供了有效工具. 世界自然基金会(world wide fund for nature，WWF)和 GFN 等机构合作自 2000 年起每两年发布一次《Living Planet Report》[22]，公布世界各国人均生态足迹，受到广泛关注. 同时，WWF 联合其技术合作伙伴，分别于 2008、2010 和 2012 年发布了三版《中国生态足迹报告》[23~25]，计算了 1961 ~ 2008 年我国的生态足迹. 其他一些研究也开展了我国长时间序列的生态足迹研究，如刘宇辉等[26]参考 Wackernagel 方法[1]核算了 1962 ~ 2001 年我国生态足迹，Shao 等[27]采用能值法核算了 1981 ~ 2001 年我国生态足迹. 但是由于缺乏统一核算标准，不同研究的核算结果存在较大差异；此外，已有研究大多采用历年全球平均生产力为衡量标准，受全球平均生产力的动态变化影响较大，难以准确评价我国生态足迹的动态变化趋势；而且，已有研究针对近 10 多年全国生态足迹的变化及其社会经济驱动机制关注不足.

新世纪以来，我国社会经济迅猛发展. 2000 ~ 2010 年，全国 GDP 年均增长 10.57%，按可比价计算，2010 年全国经济规模是 2000 年的 2.71 倍. 同时，我国城市化进程不断加快，10 年间，全国常住城镇常住人口由4.559 4亿增加到6.655 8亿，相当于平均每年新增城镇人口约2 070万. 社会经济的快速发展在显著提高我国综合国力，提高居民消费水平的同时，也使我国可再生自然资源消费量急剧增加，并导致自然资源和生态系统服务的退化，危及我国生态安全和民生福祉. 正确处理经济增长与自然资源需求间的关系是确保我国社会经济可持续发展和民生福祉持续改善的重要基础. 本研究以 2000 年全球平均生产力为衡量标准，参照国家生态足迹账户计算方法(2010 版)[21]，重点关注 2000 ~ 2010 年我国社会经济迅猛发展背景下生态足迹的动态变化特征及其社会经济驱动机制，以期为新时期我国自然资源的可持续利用和管理提供支撑.

1　研究方法

1.1　核算公式

生态足迹为特定区域消费活动所占用的以全球公顷(global hectares, gha)计算的土地总量. 本研究参照国家生态足迹账户计算方法(2010 版)计算 2000 ~ 2010 年我国的生态足迹，其计算公式为：

$$EF = EF_B + EF_C \tag{1}$$

$$EF_B = \sum_i \frac{P_i}{Y_{N,i}} \times YF_{N,i} \times EQF_i = \sum_i \frac{P_i}{Y_{W,i}} \times EQF_i \tag{2}$$

$$P_i = P_{i,p} + P_{i,im} - P_{i,ex} \tag{3}$$

$$EF_C = \frac{(P_C - S_{ocean})}{Y_C} \times EQF_C \tag{4}$$

式中，EF 为全国总生态足迹；EF_B 为全国生物质生态足迹；EF_C 为全国碳足迹；P_i 为全国第 i 种生物质产品消费量；$P_{i,p}$为全国第 i 种生物质产品产量；$P_{i,im}$为全国第 i 种生物质产品进口量；$P_{i,ex}$为全国第 i 种生物质产品出口量；$Y_{N,i}$为全国第 i 种生物质产品的平均生产力；$YF_{N,i}$为全国第 i 种生物质产品的产量因子；$Y_{W,i}$为第 i 种生物质产品的全球平均生产力；EQF_i 为第 i 种生物质产品均衡因子或当量因子，通过均衡因子，可以将某类土地利用面积转化成相应的具有全球平均生物生产力的面积当量，EQF_i 等于某类土地利用(如耕地)的最大潜在生产力与地球上所有生物生产性土地的平均生产力之比；P_C 为全国二氧化碳排放量；S_{ocean}为特定年份下人类排放二氧化碳的海洋吸收分数；Y_C 为全球林地二氧化碳吸收能力的平均水平；EQF_C 为碳吸收用地的均衡因子，等于林地的均衡因子.

1.2　核算指标

根据各类生物性产品的产量和贸易量数据的可获取性，全国生态足迹核算指标如表 1 所示，包括 6 种类型生态足迹和 33 类生物性资源或能源.

1.3　各种核算参数

研究中各种生物性资源 2000 年全球平均产量如表 2 所示. 其中，农产品全球平均产量大多根据 FAO 统计数据库 2000 年的全球总产量和播种面积计算. 由于谷物占粮食绝大部分比重，粮食全球平均产量由谷物全球平均产量代替，食用油的全球平均产量按照油料作物全球平均产量求得. 受资料的限制，林地产品的单产值按特定年份(1993 年)世界

平均单产进行计算. 水产品的全球平均产量参考文献[28]. 碳足迹核算所需的人类排放二氧化碳海洋吸收百分比为 21.74%,每年世界平均林地的二氧化碳吸收率为3.593 6 t·whm^{-2}.

表 1 生态足迹核算指标

Table 1 Composition and evolution of China's ecological footprint from 2000 to 2010

账户	生态足迹指标	纳入账户的生物性资源和能源类型
生物资源账户	耕地	谷物、豆类、薯类、棉花、花生、油菜籽、芝麻、麻类、甘蔗、甜菜、烟草、茶叶、禽蛋、猪肉
	林地	木材、油桐籽、油茶籽、橡胶、苹果、柑橘、梨、葡萄、香蕉、
	水域	水产品
	草地	牛肉、羊肉、奶类、羊毛
	建设用地	建设用地、电力用地
碳账户	碳足迹	煤、石油、天然气

表 2 各种生物性资源 2000 年全球平均产量

Table 2 Global average yield of main biological products in 2000

生物资源类型	生物资源	全球平均产量/kg·hm^{-2}	生物资源类型	生物资源	全球平均产量/kg·hm^{-2}
农产品	谷物	3 058	林产品	木材/m^3·hm^{-2}	1.81
	豆类	2 169		油桐籽	2 516.23
	薯类	13 130		油茶籽	1 856
	棉花	1 668.4		橡胶	948.1
	花生	1 493		苹果	10 899.5
	油菜籽	1 529		柑橘	17 419.5
	芝麻	358.3		梨	10 432.4
	麻类	1 934.1		葡萄	8 837.1
	甘蔗	64 827.2		香蕉	15 396.3
	甜菜	41 615.1	水产品	水产品	697.37
	烟草	1 619.9	动物产品	牛肉	35.59
	茶叶	1 261.2		羊肉	37.89
	禽蛋	536.29		奶类	551.55
	猪肉	554.43		羊毛	15

均衡因子把一种特定土地使用类型(例如,世界平均农地、牧草地、林地、水域、碳吸收地与建成地)供给或需求的面积转变成世界平均生物生产力面积的单位数——全球公顷数. 均衡因子需要根据每年计算,但由于年份变化较小,本研究中参考 WWF 发布的《地球生命力报告 2008(Living Planet Report 2008)》报告中 2005 年各种土地利用类型的均衡因子[29](表 3).

表 3 各种土地利用类型的均衡因子

Table 3 Equivalence factors for each land use type

用地类型	耕地	林地	草地	水域	建设用地	碳吸收用地
均衡因子	2.39	1.25	0.51	0.41	2.39	1.25

1.4 数据来源

全国生物性资源产量和贸易量数据来源于历年中国统计年鉴,二氧化碳排放量数据来源于世界银行 WDI 数据库.

1.5 生态足迹变化驱动力分析方法

IPAT 模型及其扩展模型能够简便、可行地描述人文驱动力对环境压力的影响,自其出现以来得到了相关领域研究人员的广泛认可[30,31],可以作为分析我国生态足迹变化驱动力的理论模型. 经典 IPAT 模型的公式如下:

$$I = P \times A \times T$$

式中,I 为环境压力,P 为人口数量,A 为富裕度,即人均消费或人均生产,T 为单位消费或生产所产生的环境影响,反映一个地区的技术水平.

2 结果与讨论

2.1 全国生态足迹组成及变化

使用 2000 年全球平均生产力估算 2000 ~ 2010

年我国生态足迹. 结果显示(图 1),2000 ~ 2010 年,我国生态足迹由 17.69 亿 gha 增加到 32.59 亿 gha. 10 年间,生态足迹年均增长 6.30%,明显快于同期世界各国生态足迹增长速度[32],也明显快于已有研究核算的 1990 ~ 2000 年我国生态足迹的增长速度[33, 34]. 生态足迹的增加意味着对自然资源的利用程度加大和生态环境压力的加剧.

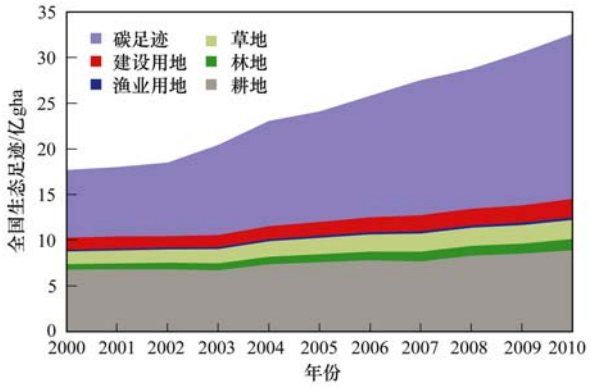


图 1　2000 ~ 2010 年全国生态足迹组成与变化

Fig. 1　Composition and evolution of China's ecological footprint from 2000 to 2010

碳足迹是 10 年间增长最快的生态足迹类型,由 7.42 亿 gha 增加到 18.05 亿 gha,年均增长 9.29%;占全国生态足迹的比重由 41.92% 增加到 55.38%. 社会经济发展对能源消耗量的急剧增加是碳足迹增加的主要原因,2000 ~ 2010 年我国能源消费量由 14.55 亿吨标准煤增加到 32.49 亿吨标准煤,而能源结构没有得到有效优化,高碳能源煤炭占能源消耗总量的比例一直维持在 70% 左右. 耕地足迹的绝对量也大幅增加,由 6.78 亿 gha 增加到 8.91 亿 gha,年均增长 2.77%,十年来我国谷物、豆类、猪肉消费量的大幅增加是耕地足迹增幅较大的主要原因. 林地足迹由 0.61 亿 gha 增加到 1.23 亿 gha,主要由木材的消费量急剧增加驱动;草地生态足迹由 1.39 亿 gha 增加到 2.08 亿 gha,主要由奶类和牛羊肉消费量的快速增加驱动. 渔业生态足迹略有增加,由 0.21 亿 gha 增加到 0.30 亿 gha.

2.2　人均生态足迹的变化

2000 ~ 2010 年全国人均生态足迹从 1.40 gha 增加到 2.43 gha,年均增长 0.10 gha,特别是 2003 年以后随着碳足迹的大幅增加,人均生态足迹增长更快(表 4).

尽管 2010 年我国人均生态足迹仍低于 2.60 gha 的世界平均水平,也远低于美国、加拿大、法国、德国、英国等欧美发达国家[3, 32]. 但由于我国人口众多,人均生态承载力远低于全球平均水平,2010 年约为 1.0 gha,人均生态足迹已超过了人均生态承载力的两倍,出现严重的生态赤字. 随着我国社会经济的发展,经济增长进一步由投资驱动型向消费驱动型转变,我国人均自然资源消费量和人均生态足迹将持续增加,而同期生态承载力的提高十分困难,将使我国面临更加严峻的生态赤字. 而且,从全球生态足迹网络评估 1961 ~ 2010 年世界各国的人均生态足迹来看[32],大多数国家人均生态足迹随着经济的增长而持续增加或者维持在一个较高的水平,仅有少数国家出现生态足迹拐点,即在上升到一个较高值后随着经济的增长而持续下降;而且大多数发达国家人均生态足迹在至少超过 5.0 gha 以后,才进入相对缓慢的增长或者下降的阶段. 这现象与众多研究得出的世界各国人均生态足迹的变化并不满足环境库兹涅茨倒 U 型曲线假设这一结论一致[35 ~ 38]. 文献[22]也指出还没有哪个国家既实现了高水平的人类发展,又保持着可持续的生态足迹,高收入国家较高的人类发展水平是以高生态足迹为代价的. 如果未来我国人均生态足迹的变化符合大多数发达国家的变化规律,那么当我国由中等收入国家迈向高收入国家时,将面临巨额的生态赤字.

一些发达国家通过贸易大量进口自然资源和生态系统服务,向国外转移生态足迹,从而减轻了自身的生态压力[39, 40]. 在我国,如果只考虑初级生物产品的直接贸易,不考虑初级生物产品在本区域内进行加工后隐含在产品中的间接贸易,那么中国是生态承载力的净进口国[41, 42];本研究根据我国各类初级生物产品进出口量估计,2000 ~ 2010 年我国贸易中人均净进口生物性产品的生态足迹由 0.025 gha 增加到 0.094 gha;2010 年人均净进口生物性产品的生态足迹占人均生态足迹 3.85%,从这方面看,国家贸易有助于减轻我国的生态压力. 但如果考虑进出口贸易产品中隐含的间接生态足迹,中国对发达国家持续贸易顺差背后,隐藏着大量生态资源的直接净出口与依附于商品上的间接净出口,进一步导致我国生态赤字的增加[43, 44].

2.3　生态足迹变化的驱动力

根据 IPAT 方程,一个地区生态足迹主要受 3 个因素影响:人口、人均消费(富裕程度)和单位消费的资源强度(技术水平)[31, 45]. 2000 ~ 2010 年,我国总人口基本保持稳定,因此全国生态足迹的变化主要受人均生态足迹的增长驱动.

表 4 2000 ~ 2010 年全国人均生态足迹/gha

Table 4 Average ecological footprint per capita in China from 2000 to 2010/gha

项目	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
总生态足迹	1.40	1.41	1.44	1.58	1.77	1.84	1.96	2.08	2.17	2.29	2.43
耕地足迹	0.54	0.53	0.53	0.52	0.57	0.58	0.59	0.58	0.63	0.64	0.66
林地足迹	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09
草地足迹	0.11	0.11	0.11	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.16
渔业用地足迹	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
建设用地足迹	0.10	0.10	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.14	0.15
碳足迹	0.59	0.60	0.63	0.76	0.89	0.92	1.01	1.12	1.15	1.25	1.35

人均生态足迹主要取决于人均使用的商品与服务以及提供这些商品与服务时各种自然资源的使用效率. 随着科技的进步、经济结构的优化和管理水平的提高,我国各种资源的使用效率即生态效率不断提高[46]. 单位 GDP 和单位消费支出生态足迹的变化也反映了我国生态效率的提高,按 2000 年可比价计算,2000 ~ 2010 年全国单位 GDP 生态足迹由 1.78 gha·万元$^{-1}$下降到 1.21 gha·万元$^{-1}$,单位居民消费支出生态足迹由 3.84 gha·万元$^{-1}$下降到 3.09 gha·万元$^{-1}$; 其中除 2004 年单位 GDP 和单位居民消费支出生态足迹有所上升外,其余年份均呈持续下降的趋势(图 2). 但由于生态效率提高速度赶不上人均消费的增长速度,使我国人均生态足迹仍快速增长. 总体而言,我国生态足迹与 GDP 和居民消费支出呈现出弱脱钩的态势,即生态足迹的增长速度慢于 GDP 和居民消费支出的增长速度,但快于人口和城镇人口的增长速度(图 3).

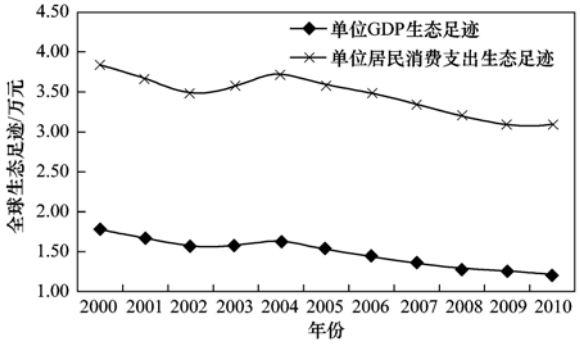
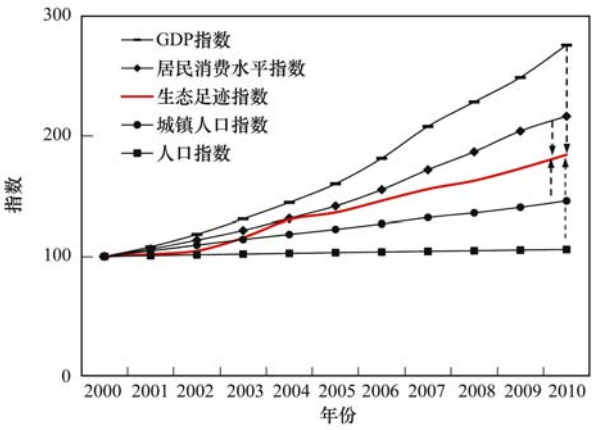


图 2 2000 ~ 2010 年全国单位 GDP 和单位居民消费支出生态足迹

Fig. 2 Ecological footprint per unit GDP and per unit household consumption expenditure of China in 2000-2010

2000 ~ 2010 年我国快速的经济增长和城镇化是驱动消费支出快速增长的主要驱动因素,也是我国人均生态足迹快速增长的间接驱动力. 2000 ~ 2010 年,我国经济年均增长 10.57%,主要由工业和第三产业拉动,10 年间我国经历了快速的工业化和重化工业化过程,驱动了能源消费和碳足迹的急剧



2000 年指数为 100

图 3 2000 ~ 2010 年全国生态足迹和各社会经济指标变化趋势

Fig. 3 Trends of ecological footprint and each socioeconomic indicator of China in 2000-2010

增加,而第三产业的快速发展有助于提高城乡居民收入和消费水平,从而加大对自然资源的消费和生态足迹的占用. 10 年间我国人口城镇化率由 36.22% 增加到 49.94%,由于城镇居民消费水平高于农村居民,而且消费结构中高生态占用的产品比重也更大,使城市居民的人均生态足迹特别是碳足迹远高于农村居民[47, 48].

此外,受贸易全球化的影响,一个国家或地区的生产和生活行为所产生的生态足迹可以通过贸易途径实现跨越地区界限的输送[40,49]. 自 2001 年加入世贸组织以后,我国与世界各国经济联系日益紧密,2000 ~ 2010 年,我国货物进出口总额由 3.93 万亿元增加到 20.17 万亿元,实现贸易顺差由 241.1 亿元增加到1 815.1亿元(均为当年价). 主要货物的进出口量也急剧增加,根据统计数据,2000 ~ 2010 年我国是主要初级生物产品如木材、大豆净进口国,而且净进口量快速增加,并由谷物净出口国转为净进口国,初级生物产品的净进口向国外转移了生态足迹,拓展了我国经济版图,减轻了本国生态压力. 但值得注意的是,伴随初级生物产品净进口的是我国加工制造品的大量净出口,而隐藏在这些加

工制造品中的隐含生态足迹是巨大的[50]；据李昭华等[44]估计，除农林牧渔业外，中国 28 个部门的进出口贸易隐含实际用地生态足迹均为净出口，加重了中国的生态资源负担. 从这方面看，我国生态足迹增长中的很大部分由国际贸易驱动. 目前我国对发达国家以劳动密集型与资源密集型为主的出口商品结构尚未得到根本性改变，对外贸易对我国的生态压力持续维持在一个较高的水平.

3　结论与建议

(1)2000 ~ 2010 年我国生态足迹由 17.69 亿 gha 增加到 32.59 亿 gha，年均增长 6.30%，相对于 1990 ~ 2000 年增长速度明显加快；碳足迹和耕地足迹是 10 年间增长最快的生态足迹类型. 10 年间我国人均生态足迹由 1.40 gha 增加到 2.43 gha，尽管仍低于世界平均水平，但已远超过我国人均生态承载力，并造成巨额生态赤字.

(2)2000 ~ 2010 年，全国生态足迹的变化主要受人均生态足迹的快速增长驱动. 而经济增长和城镇化所带来的人均消费的产品和服务的增加是人均生态足迹快速增长的主要驱动力. 同时，国际贸易中初级生物产品生态足迹的净进口，以及隐藏在加工产品和服务中的隐含生态足迹的进出口也是驱动我国生态足迹变化的重要因素.

(3)随着城镇化进程的加速和经济的进一步发展，以及经济增长的驱动因素进一步从投资和出口转向国内消费驱动，消费端的生态环境影响将会愈加显著. 从发达国家人均生态足迹的变化规律来看，在我国由中等收入国家迈向高收入国家的过程中，人均生态足迹将维持较高的增长速度，从而使我国的生态赤字进一步加剧，资源环境压力进一步加大，危及我国的生态安全和社会经济的可持续发展.

(4)有必要采取积极的措施控制生态足迹的快速增长，遏制生态赤字的增加：①实施严格的生态红线管理制度，加强自然资源的可持续管理，降低社会经济发展对自然资源的损耗，提高生态承载力；②实施生态创新战略，提高生态创新投入，通过生态技术创新和应用提升生态效率，促进经济增长与资源消耗的脱钩；③加强可持续消费的宣传教育，弘扬中华文化中的传统勤俭节约美德，抵制消费模式的西化，倡导适度消费、理性消费，优化消费结构，减少高生态占用产品的消费；④采取有益于减轻生态环境压力的贸易策略，不仅需要增加初级生物产品的进口量，还需要通过相关的关税政策，严格控制资源性以及高耗能、高耗水产品的出口量，减轻国际贸易中隐含生态足迹对我国生物生产性土地的占用；⑤加强自然资源的资产化管理，完善生态资源产权制度，建立生态资源合理价格的形成机制，提高企业自然资源使用成本，从而推动企业提高生态效率，降低生产过程和单位产品生态足迹. ⑥探索建立生态足迹审计制度，强化政府、企业和公民的生态保护责任.

参考文献：

[1] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, *et al*. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, **29**(3): 375-390.

[2] Wackernagel M, Monfreda C, Schulz N B, *et al*. Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges[J]. Land Use Policy, 2014, **21**(3): 271-278.

[3] Borucke M, Moore D, Cranston G, *et al*. Accounting for demand and supply of the biosphere's regenerative capacity: The National Footprint Accounts' underlying methodology and framework[J]. Ecological Indicators, 2013, **24**: 518-533.

[4] van Vuuren D P, Bouwman L F. Exploring past and future changes in the ecological footprint for world regions[J]. Ecological Economics, 2005, **52**(1): 43-62.

[5] Niccolucci V, Tiezzi E, Pulselli F M, *et al*. Biocapacity *vs* Ecological Footprint of world regions: A geopolitical interpretation[J]. Ecological Indicators, 2012, **16**: 23-30.

[6] Duro J A, Teixidó-Figueras J. Ecological footprint inequality across countries: The role of environment intensity, income and interaction effects[J]. Ecological Economics, 2013, **93**: 34-41.

[7] Salvo G, Simas M S, Pacca S A, *et al*. Estimating the human appropriation of land in Brazil by means of an Input-Output Economic Model and Ecological Footprint analysis[J]. Ecological Indicators, 2015, **53**: 78-94.

[8] Fu W, Turner J C, Zhao J Q, *et al*. Ecological footprint (EF): An expanded role in calculating resource productivity (RP) using China and the G20 member countries as examples[J]. Ecological indicators, 2015, **48**: 464-471.

[9] Galli A, Kitzes J, Niccolucci V, *et al*. Assessing the global environmental consequences of economic growth through the Ecological Footprint: A focus on China and India[J]. Ecological Indicators, 2012, **17**: 99-107.

[10] Mattila T. Any sustainable decoupling in the Finnish economy? A comparison of the pathways and sensitivities of GDP and ecological footprint 2002-2005[J]. Ecological Indicators, 2012, **16**: 128-134.

[11] 安宝晟, 程国栋. 西藏生态足迹与承载力动态分析[J]. 生态学报, 2014, **34**(4): 1002-1009.

[12] 邱寿丰, 朱远. 基于国家生态足迹账户计算方法的福建省生态足迹研究[J]. 生态学报, 2012, **32**(22): 7124-7134.

[13] Moore J, Kissinger M, Rees W E. An urban metabolism and ecological footprint assessment of Metro Vancouver[J]. Journal of Environmental Management, 2013, **124**: 51-61.

[14] 周涛, 王云鹏, 龚健周, 等. 生态足迹的模型修正与方法改进[J]. 生态学报, 2015, **35**(14): 4592-4603.
[15] Simmons C, Lewis K, Barrett J. Two feet—two approaches: a component-based model of ecological footprinting[J]. Ecological Economics, 2000, **32**(3): 375-380.
[16] de Alvareng R A F, da Silva Júnior V P, Soares S R. Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production[J]. Journal of Cleaner Production, 2012, **28**: 25-32.
[17] Galli A, Weinzettel J, Cranston G, *et al*. A footprint family extended MRIO model to support Europe's transition to a One Planet Economy[J]. Science of the Total Environment, 2013, **461－462**: 813-818.
[18] Venetoulis J, Talberth J. Refining the ecological footprint[J]. Environment, Development and Sustainability, 2008, **10**(4): 441-469.
[19] Zhao S, Li Z Z, Li W L. A modified method of ecological footprint calculation and its application [J]. Ecological Modelling, 2005, **185**(1): 65-75.
[20] Global Footprint Network. Ecological footprint standards 2009 [R]. Oakland: Global Footprint Network, 2009.
[21] Ewing B, Reed A, Galli A, *et al*. Calculation methodology for the national footprint accounts[R]. (2010 Edition). Oakland: Global Footprint Network, 2010.
[22] WWF. Living planet report 2014[R]. Geneva: WWF. 2014.
[23] 中国环境与发展国际合作委员会, WWF. 中国生态足迹报告2008[R]. 北京: 中国环境与发展国际合作委员会, WWF, 2008.
[24] 中国环境与发展国际合作委员会, WWF. 中国生态足迹报告2010[R]. 北京: 中国环境与发展国际合作委员会, WWF, 2010.
[25] WWF. 中国生态足迹报告 2012[R]. 北京: WWF 北京代表处, 2012.
[26] 刘宇辉, 彭希哲. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估[J]. 生态学报, 2004, **24**(10): 2257-2262.
[27] Shao L, Wu Z, Chen G Q. Exergy based ecological footprint accounting for China[J]. Ecological Modelling, 2013, **252**: 83-96.
[28] Wang B C, Chou F Y, Lee Y J. Ecological footprint of Taiwan: A discussion of its implications for urban and rural sustainable development[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2012, **36**(4): 342-349.
[29] WWF. Living planet report 2008[R]. Geneva: WWF, 2008
[30] Waggoner P E, Ausubel J H. A framework for sustainability science: A renovated IPAT identity [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2002, **99**(12): 7860-7865.
[31] York R, Rosa E A, Dietz T. STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 2003, **46**(3): 351-365.
[32] Global Footprint Network. Footprint for Nations [EB/OL]. http://www. footprintnetwork. org/en/index. php/GFN/page/footprint_for_nations, 2015-03-16.
[33] 李中才, 王广成, 关晓吉. 中国生态足迹与经济增长的协整与误差修正[J]. 资源科学, 2008, **30**(2): 261-266.
[34] 元相虎, 李华, 陈彬. 基于生态足迹模型中国可持续发展动态分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2005, **15**(3): 38-42.
[35] Bagliani M, Bravo G, Dalmazzone S. A consumption-based approach to environmental Kuznets curves using the ecological footprint indicator[J]. Ecological Economics, 2008, **65**(3): 650-661.
[36] Wang Y, Kang L Y, Wu X Q, *et al*. Estimating the environmental Kuznets curve for ecological footprint at the global level: A spatial econometric approach[J]. Ecological Indicators, 2013, **34**: 15-21.
[37] Caviglia-Harris J L, Chambers D, Kahn J R. Taking the "U" out of Kuznets: A comprehensive analysis of the EKC and environmental degradation[J]. Ecological Economics, 2009, **68**(4): 1149-1159.
[38] Jorgenson A K, Burns T J. The political-economic causes of change in the ecological footprints of nations, 1991-2001: A quantitative investigation[J]. Social Science Research, 2007, **36**(2): 834-853.
[39] Moran D D, Wackernagel M C, Kitzes J A, *et al*. Trading spaces: Calculating embodied ecological footprints in international trade using a Product Land Use Matrix (PLUM) [J]. Ecological Economics, 2009, **68**(7): 1938-1951.
[40] Andersson J O, Lindroth M. Ecologically unsustainable trade [J]. Ecological Economics, 2001, **37**(1): 113-122.
[41] 陈琰, 由黎, 赵淳, 等. 中国进出口贸易的生态足迹核算[J]. 资源科学, 2010, **32**(7): 1289-1295.
[42] 陈丽萍, 杨忠直. 中国进出口贸易中的生态足迹[J]. 世界经济研究, 2005, (5): 8-11.
[43] 白钰, 曾辉, 李贵才, 等. 基于宏观贸易调整方法的国家生态足迹模型[J]. 生态学报, 2009, **29**(9): 4827-4835.
[44] 李昭华, 傅伟. 中国进出口贸易内涵自然资本的生态足迹分析[J]. 中国工业经济, 2013, (9): 5-18.
[45] Wiedmann T, Lenzen M. On the conversion between local and global hectares in Ecological Footprint analysis[J]. Ecological Economics, 2007, **60**(4): 673-677.
[46] Yu Y D, Chen D J, Zhu B, *et al*. Eco-efficiency trends in China, 1978-2010: Decoupling environmental pressure from economic growth [J]. Ecological Indicators, 2013, **24**: 177-184.
[47] 赵卫, 刘景双, 孔凡娥, 等. 城市化对区域生态足迹供需的影响[J]. 应用生态学报, 2008, **19**(1): 120-126.
[48] Mostafa M M. A Bayesian approach to analyzing the ecological footprint of 140 nations[J]. Ecological Indicators, 2010, **10**(4): 808-817.
[49] 李昭华, 邓荣荣. 南北贸易与生态资源贫瘠化假说: 来自中国的证据[J]. 经济学家, 2012, (11): 22-32.
[50] 曹淑艳, 谢高地. 基于投入产出分析的中国生态足迹模型[J]. 生态学报, 2007, **27**(4): 1499-1507.

HUANJING KEXUE

Environmental Science (monthly)

Vol. 37 No. 2

Feb. 15, 2016

CONTENTS

Editor's comment ····· (403)

Risk Assessment and Risk Management of Chemicals in China ····· WANG Tie-yu, ZHOU Yun-qiao, LI Qi-feng, *et al.* (404)

Application of Land-use Regression Models in Spatial-temporal Differentiation of Air Pollution ····· WU Jian-sheng, XIE Wu-dan, LI Jia-cheng (413)

Ecological Footprint Evolution Characteristics and Its Influencing Factors in China from 2000 to 2010 ····· HUANG Bao-rong, CUI Shu-hong, LI Ying-ming (420)

Pollution Characteristics and Sources of Carbonaceous Aerosol in $PM_{2.5}$ During Winter in Guanzhong Area ····· TIAN Peng-shan, CAO Jun-ji, HAN Yong-ming, *et al.* (427)

Chemical Composition of the Single Particle Aerosol in Winter in Nanning Using SPAMS ····· LIU Hui-lin, SONG Hong-jun, CHEN Zhi-ming, *et al.* (434)

Correlation Analysis Between Characteristics of VOCs and Ozone Formation Potential in Summer in Nanjing Urban District ····· YANG Xiao-xiao, TANG Li-li, ZHANG Yun-jiang, *et al.* (443)

Seasonal Dynamics of Airborne Pollens and Its Relationship with Meteorological Factors in Beijing Urban Area ····· MENG Ling, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, *et al.* (452)

Mercury Distribution Characteristics and Atmospheric Mercury Emission Factors of Typical Waste Incineration Plants in Chongqing ····· DUAN Zhen-ya, SU Hai-tao, WANG Feng-yang, *et al.* (459)

Characteristics of Atmospheric Dry and Wet Deposition of Trace Metals in the Hinterland of the Three Gorges Reservoir, China ····· ZHANG Liu-yi, LIU Yuan, QIAO Bao-qing, *et al.* (466)

Monitoring and Analysis of Stable Isotopes of the Near Surface Water Vapor in Changsha ····· XIE Yu-long, ZHANG Xin-ping, YAO Tian-ci, *et al.* (475)

Mercury Transport from Glacier to Runoff in Typical Inland Glacial Area in the Tibetan Plateau ····· SUN Xue-jun, WANG Kang, GUO Jun-ming, *et al.* (482)

Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Core Sediments from Lakes of Tibet ····· GUO Bi-xi, LIU Yong-qin, ZHANG Fan, *et al.* (490)

Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Inflow Rivers to Northeastern Lake Tanganyika ····· YU Cheng, CHEN Shuang, ZHANG Lu (499)

Over One Hundred Year Sediment Record of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Lake Bosten, Xinjiang ····· SHEN Bei-bei, WU Jing-lu, ZHAO Zhong-hua, *et al.* (507)

Distribution Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Different Environmental Media from Qingbang Island, Zhoushan, China ····· ZHENG Huang, XING Xin-li, GU Yan-sheng, *et al.* (513)

Transformation of Non-point Source Soluble Nitrogen in Simulated Drainage Ditch ····· LI Qiang-kun, SONG Chang-ji, HU Ya-wei, *et al.* (520)

Influence of Landscape Heterogeneity on Total Nitrogen Concentration in Zhongtian River Watershed ····· WANG Jing-ping, LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, *et al.* (527)

Nitrogen Release from Sediment Under Dry and Rainy Season Alternation and Its Contribution to N Export from Xiangxi Watershed in Jiangxi Province ····· HAN Ning, HAO Zhuo, XU Ya-juan, *et al.* (534)

Spatial and Temporal Distributions of Nitrogen and Phosphate in the Chaohu Lake ····· XI Shan-shan, ZHOU Chun-cai, LIU Gui-jian, *et al.* (542)

Phosphorus Fractions and Release Risk in Surface Sediments of an Agricultural Headwater Stream System in Hefei Suburban, China ····· PEI Ting-ting, LI Ru-zhong, GAO Su-di, *et al.* (548)

Surface Property and Sorption Characteristics of Phosphorus onto Surface Sediments in Sanggou Bay ····· ZHU Jia-mei, CAO Xiao-yan, LIU Su-mei, *et al.* (558)

Particle Size Distribution and Pollutant Speciation Analyses of Stormwater Runoff in the Ancient Town of Suzhou ····· LI Huai, WU Wei, TIAN Yong-jing, *et al.* (565)

Abundance of Toxic and Non-toxic *Microcystis* sp. in Lake Hongze and Its Correlation with Environmental Factors ····· LI Da-ming, ZHANG Tong-qing, TANG Sheng-kai, *et al.* (573)

Effect of Charge-Transfer Complex on Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Absorption Property of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Waters of Typical Water-Level Fluctuation Zones of the Three Gorges Reservoir Areas ····· JIANG Tao, LIANG Jian, ZHANG Mu-xue, *et al.* (580)

Influence of pH on Kinetics of Anilines Oxidation by Permanganate ····· WANG Hui, SUN Bo, GUAN Xiao-hong (588)

Effects of EDTA on the Reductive Dechlorination of 2,4-D by Pd/Fe ····· ZHOU Hong-yi, NIE Ya-zhong, CHEN Yong, *et al.* (595)

Preparation of NiAl-MMO Films Electrode and Its Capacitive Deionization Property ····· WANG Ting, ZHU Chun-shan, HU Cheng-zhi (602)

Competitive Microbial Oxidation and Reduction of Arsenic ····· YANG Ting-ting, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, *et al.* (609)

Community Characteristics of ANAMMOX Bacteria in Subsurface Flow Constructed Wetland(SSFCW) for Processing of Aquaculture Waster Water ····· ZENG Xian-lei, LIU Xing-guo, WU Zong-fan, *et al.* (615)

Analysis of Pathogenic Bacteria in Reclaimed Water and Impact of UV Disinfection on the Removal of Pathogenic Bacteria ····· JING Ming, WANG Lei (622)

Analysis of the Microbial Community Structure in Continuous Flow Reactor Enhanced by Heterotrophic Nitrification and Aerobic Denitrification Bacterium *Burkholderia* sp. YX02 ····· SHAO Ji-lun, CAO Gang, LI Zi-hui, *et al.* (630)

Comparative Metagenomics of BIOLAK and A^2O Activated Sludge Based on Next-generation Sequencing Technology ····· TIAN Mei, LIU Han-hu, SHEN Xin (638)

Identification and Nitrogen Removal Characteristics of a Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Strain Isolated from Marine Environment ····· SUN Qing-hua, YU De-shuang, ZHANG Pei-yu, *et al.* (647)

Removal of AOX and Chroma in Biologically Treated Effluent of Chemical Dyestuff Wastewater with Nanoscale Ni/Fe ····· SHU Xiao-ming, XU Can-can, LIU Rui, *et al.* (655)

Feasibility of 3BER-S Process for the Deep Denitrification in Synch with the Removal of PAEs from Reclaimed Water ····· XU Peng-cheng, HAO Rui-xia, ZHANG Ya, *et al.* (662)

Influence of Reaction Time on Titanate Nanomaterials and Its Adsorption Capability for Lead in Aqueous Solutions ····· FAN Gong-duan, CHEN Li-ru, LIN Ru-jing, *et al.* (668)

Sorption Characteristics of Phenanthrene and 1,1-Dichloroethene onto Reed Straw Biochar in Aquatic Solutions ····· WU Qing-wen, MENG Liang, ZHANG Zhi-hao, *et al.* (680)

Adsorption Characteristics of Norfloxacin by Biochars Derived from Reed Straw and Municipal Sludge ····· ZHANG Han-yu, WANG Zhao-wei, GAO Jun-hong, *et al.* (689)

Effect of Seasonal Temperature Increasing on Nitrogen Mineralization in Soil of the Water Level Fluctuating Zone of Three Gorge Tributary During the Dry Period ····· LIN Jun-jie, ZHANG Shuai, LIU Dan, *et al.* (697)

Effects of Warming and Straw Application on Soil Respiration and Enzyme Activity in a Winter Wheat Cropland ····· CHEN Shu-tao, SANG Lin, ZHANG Xu, *et al.* (703)

Distribution of Urban Soil Heavy Metal and Pollution Evaluation in Different Functional Zones of Yinchuan City ····· WANG You-qi, BAI Yi-ru, WANG Jian-yu (710)

Differential Effect and Mechanism of *in situ* Immobilization of Cadmium Contamination in Soil Using Diatomite Produced from Different Areas ····· ZHU Jian, WANG Ping, LIN Yan, *et al.* (717)

Characteristics of Adsorption Leaching and Influencing Factors of Dimethyl Phthalate in Purple Soil ····· WANG Qiang, SONG Jiao-yan, ZENG Wei, *et al.* (726)

Cd Runoff Load and Soil Profile Movement After Implementation of Some Typical Contaminated Agricultural Soil Remediation Strategies ····· LIU Xiao-li, ZENG Zhao-xia, TIE Bai-qing, *et al.* (734)

Concentrations and Component Profiles PAHs in Surface Soils and Wheat Grains from the Cornfields Close to the Steel Smelting Industry in Handan, Hebei Province ····· WU Di, WANG Yi-long, LIU Wei-jian, *et al.* (740)

Effect of Arbuscular Mycorrhiza (AM) on Tolerance of Cattail to Cd Stress in Aquatic Environment ····· LUO Peng-cheng, LI Hang, WANG Shu-guang (750)

Acute Toxic Effects of Bromate on Aquatic Organisms ····· WANG Zhi-wei, LIU Dong-mei, ZHANG Wen-juan, *et al.* (756)

Development of Self-assembled Dumbbell-like Fe_3O_4 Micro/nanomaterial for Application in Thermocatalytic Degradation of Polybrominated Biphenyls ····· HUANG Xin-chen, ZONG Gang, LIU Ye-xuan, *et al.* (765)

Impact of Salinity on Leachate Treatment and N_2O Releases from Semi-aerobic Aged-refuse Bioreactor ····· LI Wei-hua, SUN Ying-jie, LIU Zi-liang, *et al.* (775)

Evaluating the Significance of Odor Gas Released During the Directly Drying Process of Sludge: Based on the Multi-index Integrated Assessment Method ····· DING Wen-jie, CHEN Wen-he, DENG Ming-jia, *et al.* (782)

《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）

2016 年 2 月 15 日　第 37 卷　第 2 期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

（Monthly　Started in 1976）

Vol. 37　No. 2　Feb. 15, 2016

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