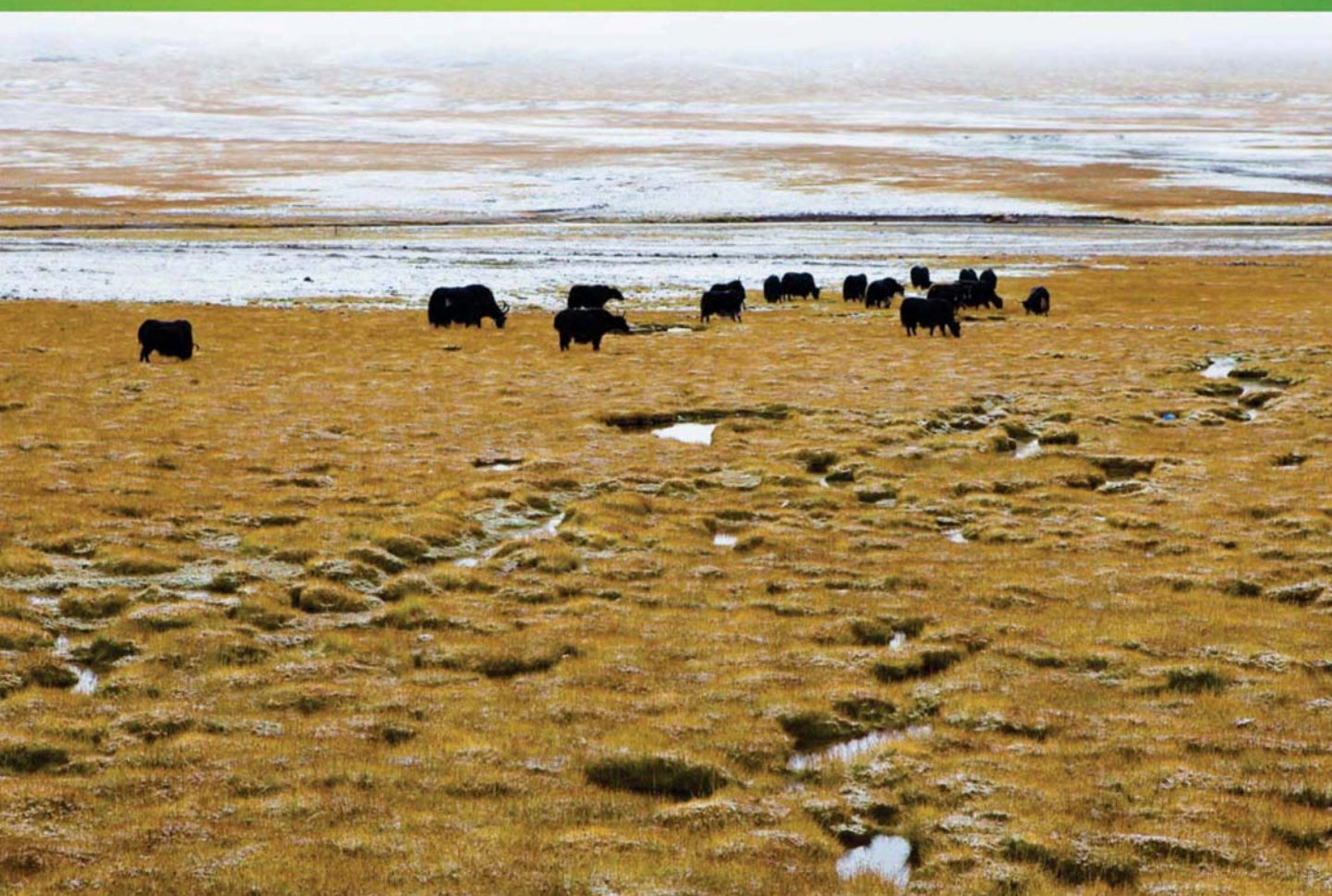


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第16期 Vol.33 No.16 **2013**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 16 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 物种分布模型理论研究进展..... 李国庆,刘长成,刘玉国,等 (4827)
- 稀土元素对农田生态系统的影响研究进展..... 金姝兰,黄益宗 (4836)
- 藤壶金星幼虫附着变态机制..... 饶小珍,林 岗,许友勤 (4846)
- 群居动物中的共同决策..... 王程亮,王晓卫,齐晓光,等 (4857)

个体与基础生态

- 季风进退和转换对中国褐飞虱迁飞的影响..... 包云轩,黄金颖,谢晓金,等 (4864)
- 两种海星对三种双壳贝类的捕食选择性和摄食率..... 齐占会,王 珺,毛玉泽,等 (4878)
- 新疆巴音布鲁克繁殖期大天鹅的生境选择..... 董 超,张国钢,陆 军,等 (4885)
- 我国特有植物青檀遗传结构的 ISSR 分析..... 李晓红,张 慧,王德元,等 (4892)
- 栽培菊花与菊属-近缘属属间杂种杂交后代耐盐性的遗传分析..... 许莉莉,陈发棣,陈素梅,等 (4902)
- 荒漠区植物光合器官解剖结构对水分利用效率的指示作用..... 张海娜,苏培玺,李善家,等 (4909)
- 水分对番茄不同叶龄叶片光合作用的影响..... 陈凯利,李建明,贺会强,等 (4919)
- 广西猫儿山不同海拔常绿树种和落叶树种光合速率与氮的关系..... 白坤栋,蒋得斌,万贤崇 (4930)
- 施肥对板栗林地土壤 N₂O 通量动态变化的影响..... 张蛟蛟,李永夫,姜培坤,等 (4939)
- 施肥对红壤水稻土团聚体分布及其碳氮含量的影响..... 刘希玉,王忠强,张心昱,等 (4949)

种群、群落和生态系统

- 大兴安岭天然沼泽湿地生态系统碳储量..... 牟长城,王 彪,卢慧翠,等 (4956)
- 基于多时相 Landsat TM 影像的汶川地震灾区河岸带植被覆盖动态监测——以岷江河谷映秀-汶川段
为例..... 许积层,唐 斌,卢 涛 (4966)
- 不同强度火干扰下盘古林场天然落叶松林的空间结构..... 倪宝龙,刘兆刚 (4975)
- 长江中下游湖群大型底栖动物群落结构及影响因素..... 蔡永久,姜加虎,张 路,等 (4985)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群年龄结构和性比..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (5000)
- 性信息素诱捕下害虫 Logistic 增长及经济阈值数学模型..... 赵志国,荣二花,赵志红,等 (5008)
- 秋末苏南茶园昆虫的群落组成及其趋色性..... 郑颖姘,钮羽群,崔桂玲,等 (5017)
- 北方常见农业土地利用方式对土壤螨群落结构的影响..... 韩雪梅,李丹丹,梁子安,等 (5026)

景观、区域和全球生态

- 基于鸟类边缘种行为的景观连接度研究——空间句法的反规划应用..... 杨天翔,张韦倩,樊正球,等 (5035)
- 西南高山地区土壤异养呼吸时空动态..... 张远东,庞 瑞,顾峰雪,等 (5047)

江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素..... 赵明松,张甘霖,李德成,等 (5058)

基于林业清查资料的桂西北植被碳空间分布及其变化特征..... 张明阳,罗为检,刘会玉,等 (5067)

资源与产业生态

基于能值分析方法的都市代谢过程——案例研究 刘耕源,杨志峰,陈彬 (5078)

基于 PSR 模型的耕地生态安全物元分析评价 张锐,郑华伟,刘友兆 (5090)

保水剂对煤矸石基质上高羊茅生长及营养吸收的影响 赵陟峰,王冬梅,赵廷宁 (5101)

城乡与社会生态

生态保护价值的距离衰减性——以三江平原湿地为例..... 敖长林,陈瑾婷,焦扬,等 (5109)

研究简报

广东山区土壤有机碳空间变异的尺度效应..... 姜春,吴志峰,钱乐祥,等 (5118)

室内养殖雌性松鼠秋季换毛期被毛长度和保温性能变化..... 荆璞,张伟,华彦,等 (5126)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说: 高寒草甸牦牛群——三江源区位于青藏高原腹地,平均海拔 4200m,是长江、黄河、澜沧江三条大河的发源地,也是全球气候变化最敏感的地区。三江源区高寒草甸植被状况对该区的生态环境、草地资源合理利用和应对全球气候变化具有十分重要的意义。2005 年以来,国家投资 70 多亿元启动三江源生态保护工程。监测显示,近年来,三江源湖泊湿地面积逐步扩大,植被覆盖度得到提高,三江源区高寒草甸的生态恶化趋势得到遏制。图为冒着风雪在三江源高寒草甸上吃草的牦牛群。

彩图及图说提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201204260598

刘耕源, 杨志峰, 陈彬. 基于能值分析方法的都市代谢过程——案例研究. 生态学报, 2013, 33(16): 5078-5089.

Liu G Y, Yang Z F, Chen B. Urban metabolism process based on emergy synthesis: a case study of Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(16): 5078-5089.

基于能值分析方法的都市代谢过程 ——案例研究

刘耕源, 杨志峰*, 陈彬

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

摘要: 都市代谢过程研究是实现都市生态规划和环境管理等实际工作优化与决策的关键理论问题之一。核算了 1999—2006 年北京代谢过程中能值通量和强度, 并依照 Eco-Indicator 99 的划分标准, 结合自然系统对污染物的自净化及污染对经济系统和生态系统的损害程度测度方法(DALY 法和 PDF 法), 从都市代谢生产过程和消费过程研究都市代谢对人群健康和自然生态系统的影响, 结果表明: (1) 北京都市代谢过程大部分依赖于外部购买的不可更新资源的消耗; (2) 外部购买的不可更新资源主要依赖于它省的资源供给, 对国外资源利用很少, 说明北京是一个本国资源依赖性的都市, 而且这种依赖程度在不断增长; (3) 当前过快的都市代谢过程主要由固定资产投资所拉动, 随着北京基础建设程度放缓, 这种高依赖性的代谢模式会得到一定的改变; (4) 在考虑生态损失的情况下其可持续发展水平有 5% 的下降。该研究克服传统外在预警式评价方法的局限, 综合评价都市生态系统内在代谢过程及代谢水平, 为都市生态规划和环境管理提供更为有效的优化与决策依据。

关键词: 北京; 能值评价; 都市代谢

Urban metabolism process based on emergy synthesis: a case study of Beijing

LIU Gengyuan, YANG Zhifeng*, CHEN Bin

State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

Abstract: The knowledge of urban metabolism process is a major step towards the design of sustainable development schemes and environmental management. This study systematic simulated and analyzed the mechanisms of Beijing urban ecosystem from a thermodynamic point of view. This assessment model review and compile existing data and studies on environmental issues available primarily at some sources, which include resource accounting and environmental impact assessment. The direct and indirect emergy demand was assessed based on airborne and waterborne pollutants dilution patterns, and concepts of Life Cycle Impact Assessment followed the DALY and PDF methods. Results pointed out (1) the development of economy in Beijing was closely correlated with the consumption of the nonrenewable resources and exerting rising load on environment; (2) of the total emergy use by the economic system, the imported nonrenewable resources from other province contribute most with increasing use from imported nonrenewable resources; (3) the rapid growth of society fixed capital investment drove Beijing's economic development and GDP'S growing; (4) emissions greatly reduced the sustainability of the urban metabolic system by pulling resources for damage repair and for replacement of lost natural and human-made capital. Such a knowledge is a necessary pre-requisite to perform a reliable cost-benefit evaluation of urban sustainability strategies, and provide guidance to policy decisions.

基金项目: 国家科技支撑资助项目(2012BAC05B02); 国家基金委创新研究群体科学基金资助(51121003); 高等学校博士学科点专项科研基金项目(20110003120031); 中国博士后科学基金面上资助项目(20110490014); 国家自然科学基金青年科学基金项目(41101564); 中央高校基本科研业务费专项资金; 低碳高端产业园区生态经济价值研究项目(26400150); 低碳高端产业园区标准构建项目(26400151)

收稿日期: 2012-04-26; 修订日期: 2012-10-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zfyang@bnu.edu.cn

Key Words: Beijing; urban metabolism; emergy analysis

城市是一个以人类活动为中心的社会-经济-自然复合生态系统,是一个具有多层次、多输入、多输出的耗散结构,它必须从外界获取物质和能量,不断输出产品和排放废物,才能保持稳定有序的状态。同时,城市犹如一个复杂的有机体,不断进行新陈代谢,实现整个系统的优化、循环和再生。

长期以来,中国城市所遵循的高投入、低产出、高污染的粗放型发展模式导致了严重的结构性隐患与环境问题,如高度依赖外界物质能源投入、物质与能源利用效率低、城市废弃物恣意排放、环境污染、生态破坏等。这些生态环境问题已对我国的社会经济发展产生了一系列惩罚性影响。城市生态环境问题的出现,与城市代谢不良密切相关,可以归结为城市生态系统日益增大的代谢流量,日趋复杂的代谢结构,不断降低的生态效率,持续恶化的环境影响。资源的过度使用及低效利用加剧了资源对经济社会发展的瓶颈制约,产业布局不合理及污染物不当排放导致了城市经济的结构性隐患与环境问题。另一方面,在未来相当长的一段时期内,我国城市人口仍将保持持续增长、城市化进程将进一步加快、产业结构进入快速转型期、经济总量继续以较快速度增长。毫无疑问,如果仍然沿用现有发展模式,必将更为强烈地影响我们赖以生存的自然生态基础,最终导致城市健康程度降低甚至生态系统崩溃。

由此,城市代谢全过程的研究成为实现城市生态规划和环境管理等实际工作优化与决策的关键理论问题之一,是解决城市生态与环境问题,维系健康稳定的城市生态系统的迫切需要。同时,由于城市中经济、社会与自然系统交互作用的复杂性,相应城市代谢过程的研究又必须聚焦于城市生态的系统层面,需要整合系统生态学、城市生态学和生态热力学等研究方法,从而有力地促进这些学科理论的交叉、创新和发展。然而,无论是国内还是国际,过去对城市代谢的研究仅局限于元素代谢或部分子系统过程的物质代谢研究,尚未建立城市代谢的完备机制,以及缺乏对代谢的过程、机理、通量、效率、结构和影响的全方位度量。这一缺乏主要源自两方面难题:首先是如何把一系列城市代谢不良问题纳入一个有机的、多层次、全方位分析体系;其次是如何通过过程拆解,定量各子过程的运转机理与互动关系。因此有必要顺应城市生态系统有机整体性的要求,采用多学科交叉,对城市代谢全过程进行整体评价,为城市生态规划和环境管理提供更为有效的优化与决策依据。

本文以基于“能值分析方法的北京市代谢过程研究(1)——理论与方法”一文所提出城市代谢评价框架为基础,结合所选案例城市特点,进行城市代谢过程核算与评价,并提出城市未来发展的建议。

1 北京市基础能源资源流分析

北京,位于东经 $115^{\circ}25'$ — $117^{\circ}30'$ 、北纬 $39^{\circ}26'$ — $41^{\circ}03'$ 之间,地处欧亚大陆的东部边缘,隶属环渤海经济圈,西北部有丘陵南部为平原,占地面积 16807.8km^2 。其拥有悠久的历史和政治和文化中心的地位,北京是中国最发达的城市之一,拥有集成的产业结构,包括电子、机械、化工、轻工、纺织和汽车制造业。与发展中国家的其他大城市一样,北京也面临着城市经济发展与社会生态相矛盾的问题,包括大的流动人口、农业土地丧失、资源短缺、高污染、生态环境恶化、灾害风险增加等。北京城市系统的演变,可以视为历史累计资源消耗和积累,这反过来又引起了城市的组织结构的变化。综上所述,这些密集的资源消耗在北京大部分都是从其他省市或者境外购买,本土开采比例异常小。此外,所有巨大能源资源的流动也伴随着巨大的服务和资金流向。

因此,作为具有丰富历史、庞大规模的省会城市,北京是一个连接中国和世界、传统与现代重要节点,而经历了全国鼎力支持打造的 2008 年北京奥运会也为全球提供了中国城市希望得到世界认可的典型案例。本研究选取北京作为案例城市。

2 基于能值的北京市代谢系统核算

本研究使用的能值基准是 15.83×10^{24} sej/a,引用的能值转换率做了相应的修正。由于篇幅限制,在此仅以北京市 2006 年数据为例,能值核算结果详见表 1 和 2。

表 1 2006 年城市代谢系统能值流计算表

Table 1 Energy flows supporting urban metabolic system in 2006

| 项目 Items | 单位 Units | 原始数据 Raw data | 能值转换率 Transformity /(sej/unit) | 能值转换率 参考文献 Reference | 能值 Emergy value /(sej/a) |
|--|-------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 可更新能量投入(本地可更新)Renewable Input (locally available) | | | | | |
| 1 太阳能 Sun | J/a | 7.02×10^{19} | 1 | * | 7.02×10^{19} |
| 2 风能 Kinetic energy of wind | J/a | 4.87×10^{16} | 2.51×10^3 | [1] | 1.22×10^{20} |
| 3 降雨能(重力势能) Rainfall (Geopotential Energy) | J/a | 1.25×10^{15} | 1.74×10^4 | [1] | 2.19×10^{19} |
| 4 降雨能(化学能) Rainfall (Chemical Potential) | J/a | 1.12×10^{16} | 3.05×10^4 | [1] | 3.43×10^{20} |
| 5 地热能 Geothermal Heat | J/a | 1.79×10^{16} | 5.76×10^4 | [1] | 1.03×10^{21} |
| 不可更新投入(本地不可更新)Nonrenewable Input (locally available) | | | | | |
| 6 表层土壤损失 Top soil loss | J/a | 3.17×10^{14} | 1.23×10^5 | [1] | 3.90×10^{19} |
| 7 本地化石燃料投入 Fuels input from local region | | | | | |
| 煤 Coal | J/a | 2.04×10^{17} | 6.69×10^4 | [1] | 1.37×10^{22} |
| 原油 Crude oil | J/a | 0.00 | 9.08×10^4 | [1] | 0.00 |
| 天然气 Natural gas | J/a | 0.00 | 9.85×10^4 | [3] | 0.00 |
| 8 本地物质投入 Constructed local input | | | | | |
| 石灰石 Limestone | g/a | 1.52×10^{13} | 1.68×10^9 | [2] | 2.55×10^{22} |
| 建筑用沙石 Sand and gravel | g/a | 1.02×10^{13} | 1.68×10^9 | [2] | 1.70×10^{22} |
| 铁矿 Iron ore | g/a | 1.68×10^{13} | 1.44×10^9 | [1] | 2.41×10^{22} |

* 太阳能值转化率定义为 1 sej/J

表 2 2006 年城市代谢系统能值进口计算表

Table 2 Emergy imports for urban metabolic system in 2006

| 项目 Items | 单位 Units | 原始数据 Raw data | 能值转换率 Transformity /(sej/unit) | 能值转换率 参考文献 Reference | 能值 Emergy value /(sej/a) |
|--|-------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 9 水电 Hydroelectricity | J/a | 2.30×10^{14} | 3.36×10^5 | [1] | 7.74×10^{19} |
| 10 河流径流 Stream flow | J/a | 8.81×10^{15} | 3.05×10^4 | [2] | 2.69×10^{20} |
| 11 化石燃料进口 Imported Fuels import | | | | | |
| 煤 Coal | J/a | 7.04×10^{17} | 6.69×10^4 | [1] | 4.83×10^{22} |
| 焦炭 Coke | J/a | 4.72×10^{16} | 1.10×10^5 | [4] | 5.18×10^{21} |
| 原油 Crude oil | J/a | 3.45×10^{17} | 9.08×10^4 | [4] | 3.13×10^{22} |
| 汽油 Gasoline | J/a | 9.20×10^{16} | 1.05×10^5 | [4] | 9.64×10^{21} |
| 煤油 Kerosene | J/a | 1.23×10^{17} | 1.10×10^5 | [4] | 1.36×10^{22} |
| 柴油 Diesel Oil | J/a | 8.61×10^{16} | 1.10×10^5 | [4] | 9.48×10^{21} |
| 燃料油 Fuel Oil | J/a | 4.42×10^{15} | 1.10×10^5 | [4] | 4.87×10^{20} |
| 液化石油气(LPG) Liquefied petroleum gas | J/a | 6.66×10^{15} | 1.11×10^5 | [4] | 7.37×10^{20} |
| 天然气 Natural gas | J/a | 1.58×10^{17} | 9.85×10^4 | [3] | 1.56×10^{22} |
| 12 进口电力 Imported Electricity | J/a | 1.47×10^{17} | 1.74×10^5 | [1] | 2.57×10^{22} |
| 13 进口商品 Imported goods | | | | | |
| 13.1 进口农牧产品 Imported Farm and Pasture Product | | | | | |
| 粮食 Grain | J/a | 1.91×10^{16} | 1.14×10^5 | [5] | 2.18×10^{21} |
| 油菜籽 Rapeseed | J/a | 8.23×10^{16} | 8.88×10^4 | [6] | 7.31×10^{21} |
| 蔬菜 Vegetable | J/a | 1.42×10^{14} | 7.37×10^4 | [6] | 1.05×10^{19} |

续表

| 项目 Items | 单位 Units | 原始数据 Raw data | 能值转换率 Transformity /(sej/unit) | 能值转换率 参考文献 Reference | 能值 Emergy value /(sej/a) |
|--|-------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 水果 Fruit | J/a | 2.30×10^{13} | 8.88×10^4 | [7] | 2.04×10^{18} |
| 肉 Meat | J/a | 2.75×10^9 | 5.31×10^6 | [5] | 1.46×10^{16} |
| 奶 Milk | J/a | 2.36×10^{11} | 3.35×10^6 | [5] | 7.90×10^{17} |
| 13.2 进口原材料 Imported raw and processed materials | | | | | |
| 木材 Wood | J/a | 1.51×10^{15} | 5.36×10^4 | [1] | 8.11×10^{19} |
| 铁矿 Iron ores | g/a | 4.68×10^{13} | 1.44×10^9 | [1] | 6.72×10^{22} |
| 建筑用沙石 Sand and gravel | g/a | 1.02×10^{13} | 1.68×10^9 | [2] | 1.70×10^{22} |
| 纸与纸板 Paper and paperboard | J/a | 1.20×10^{15} | 7.37×10^4 | [8] | 8.85×10^{19} |
| 丝 Silk | J/a | 6.39×10^{11} | 1.12×10^7 | [1] | 7.18×10^{18} |
| 羊毛 Wool, animal hair | J/a | 1.32×10^{14} | 7.37×10^6 | [1] | 9.70×10^{20} |
| 13.3 进口商品 Imported goods | | | | | |
| 聚乙烯 Polythene (PE) | g/a | 7.30×10^{10} | 4.69×10^9 | [9] | 3.43×10^{20} |
| 聚丙烯 Polypropylene (PP) | g/a | 1.60×10^{10} | 4.69×10^9 | [9] | 7.51×10^{19} |
| 聚苯乙烯 Polystyrene (PS) | g/a | 1.10×10^{10} | 4.69×10^9 | [9] | 5.16×10^{19} |
| 其他焦炭化工产品 Other coke chemicals | g/a | 2.54×10^{10} | 4.89×10^9 | [9] | 1.24×10^{20} |
| 其他石油化工产品 Other petroleum products | g/a | 1.16×10^{12} | 4.89×10^9 | [9] | 5.69×10^{21} |
| 钢铁 Iron and steel | g/a | 2.70×10^{13} | 3.16×10^9 | [10] | 8.53×10^{22} |
| 铝和铝产品 Aluminum and articles | g/a | 1.20×10^{12} | 7.74×10^8 | [1] | 9.29×10^{20} |
| 13.4 进口其他金属及金属产品 Other metals and articles | | | | | |
| | g/a | 2.16×10^{11} | 4.74×10^9 | [1] | 1.02×10^{21} |
| 13.5 进口高科技产品、机器、电子产品(拆解成原始材料投入) Hi-tech products, machinery and electrical equipment | | | | | |
| 铁 Steel | g/a | 3.65×10^9 | 3.16×10^9 | [10] | 1.15×10^{19} |
| 铝 Aluminum | g/a | 1.65×10^9 | 7.74×10^8 | [1] | 1.28×10^{18} |
| 铜 Copper | g/a | 1.20×10^9 | 3.36×10^9 | [9] | 4.05×10^{18} |
| 其他金属 Other metals | g/a | 4.20×10^9 | 4.74×10^9 | [1] | 1.89×10^{19} |
| 陶瓷/玻璃 Ceramics/Glasses | g/a | 1.69×10^{10} | 3.18×10^9 | [9] | 5.37×10^{19} |
| 塑料 Plastics | g/a | 6.09×10^9 | 7.21×10^9 | [1] | 4.39×10^{19} |
| 13.6 进口交通设备 Transport equipment(拆解成原始材料投入) | | | | | |
| 铁 Steel | g/a | 1.88×10^{10} | 3.16×10^9 | [10] | 5.94×10^{19} |
| 铝 Aluminum | g/a | 3.21×10^9 | 7.74×10^8 | [1] | 2.48×10^{18} |
| 橡胶和塑料材料 Rubber and plastic material | g/a | 2.29×10^8 | 7.21×10^9 | [1] | 1.65×10^{18} |
| 铜 Copper | g/a | 6.87×10^8 | 3.36×10^9 | [9] | 2.31×10^{18} |
| 13.7 进口计算机产品 Computer technology (拆解成原始材料投入) | | | | | |
| 黑色金属 Ferrous metal | g/a | 1.25×10^9 | 3.16×10^9 | [10] | 3.94×10^{18} |
| 二氧化硅/玻璃 Silica/glass | g/a | 1.62×10^9 | 3.18×10^9 | [1] | 5.16×10^{18} |
| 铜 Copper | g/a | 4.36×10^8 | 3.36×10^9 | [9] | 1.47×10^{18} |
| 塑料 Plastics | g/a | 1.43×10^9 | 7.21×10^9 | [1] | 1.03×10^{19} |
| 铝 Aluminum | g/a | 8.72×10^8 | 7.74×10^8 | [1] | 6.75×10^{17} |
| 其他金属 Other metal | g/a | 4.98×10^8 | 4.74×10^9 | [1] | 2.36×10^{18} |
| 14 进口劳力 Import human labor | | | | | |
| | \$/a | 7.30×10^8 | 5.00×10^{12} | * | 3.65×10^{21} |
| 15 进口相关服务 Services associated to imports (体现在进口材料与商品中) | | | | | |
| 来自其他省份 From other provinces | \$/a | 1.80×10^{10} | 5.00×10^{12} | * | 9.02×10^{22} |
| 来自国外 Import | \$/a | 1.05×10^{10} | 1.13×10^{12} | ** | 1.19×10^{22} |
| 16 旅游收入 Tourism | | | | | |
| | \$/a | 2.30×10^{10} | 5.00×10^{12} | * | 1.15×10^{23} |

* 本研究计算得出,国家能值货币比; ** 本研究得出,世界能值货币比

3 污染物的测定

本研究将对生态系统和人群健康有害的污染物列于表 3^[11-12]中。城市代谢过程所排放的大气污染物包括二氧化硫、粉尘、氮氧化物和甲烷(引起呼吸系统疾病)、二氧化碳、氧化亚氮和甲烷(引起气候变化),水体污染物包括水银、镉、六价铬、铅、砷、挥发酚、氰化物、石油、化学需氧量、氨氮。污染物的数据来源主要来自《北京统计年鉴 2000—2007》、《中国环境统计年鉴 2000—2007》等。

表 3 所选取的污染物和环境影响列表^[11-12]

Table 3 Lists of emissions and environmental impacts

| | 项目 Items | 污染影响类别: 人体健康 Damage category human health | 伤残调整寿命年 DALY/kg of emission | 污染影响类别: 生态系统质量 Damage category ecosystem quality | 生态系统 破坏概率 PDF×m ² ×a |
|-------------------------------|-------------------------|--|--------------------------------|---|---------------------------------------|
| 大气污染物 Airborne pollution | 二氧化碳 CO ₂ | 气候变化 | 2.10×10 ⁻⁷ | | |
| | 氮氧化物 NO _x | 呼吸系统疾病 | 8.87×10 ⁻⁵ | 酸化效应 | 5.71 |
| | 二氧化硫 SO ₂ | 呼吸系统疾病 | 5.46×10 ⁻⁵ | 酸化效应 | 1.04 |
| | 粉尘 Dust | 呼吸系统疾病 | 3.75×10 ⁻⁴ | | |
| | 一氧化二氮 N ₂ O | 气候变化 | 6.90×10 ⁻⁵ | | |
| | 甲烷 CH ₄ | 呼吸系统疾病 | 1.28×10 ⁻⁸ | | |
| | 甲烷 CH ₄ | 气候变化 | 4.40×10 ⁻⁶ | | |
| 水体污染物 Waterborne pollution | 水银 Mercury | | | 生态毒理学效应 | 1.97×10 ² |
| | 镉 Cadmium | 致癌效果 | 7.12×10 ⁻² | 生态毒理学效应 | 4.80×10 ² |
| | 六价铬 Hexavalent Chromium | 致癌效果 | 3.43×10 ⁻¹ | | |
| | 铅 Lead | | | 生态毒理学效应 | 7.39 |
| | 砷 Arsenic | 致癌效果 | 6.57×10 ⁻² | 生态毒理学效应 | 1.14×10 ¹ |
| | 挥发酚 Volatile phenol | 致癌效果 | 1.05×10 ⁻⁵ | | |
| | 氰化物 Cyanide | 致癌效果 | 4.16×10 ⁻⁵ | | |
| | 石油 Oil | 致癌效果 | 4.16×10 ⁻⁵ | | |
| | 化学需氧量 COD | 富营养化* | n. a. | 富营养化* | n. a. |
| | 氨氮 NH ₄ -H | 富营养化* | n. a. | 富营养化* | n. a. |

* COD 和 NH₄-N 所产生的生态系统损失由于缺乏相关数据,这里并没有考虑

4 污染物直接和间接影响损失核算

表 4 分别列出了用于污染物处理的额外的能值投入量。这里将针对城市中不同的代谢过程由于污染物直接和间接影响造成的损失进行核算与分析。

4.1 用于污染物处理的额外的能值投入量

用于污染物处理的额外投入的能值详见表 4,可以看出,2006 年,北京用于水污染处理和大气污染处理所投入的量较高,分别为 1.43×10²¹ sej/a 和 1.10×10²¹ sej/a,总的污染处理投入占当年总能值投入量($U=4.69 \times 10^{23}$ sej/a)的 0.41%,所占比例很小。而排放物循环使用量仅为 1.31×10²⁰ sej/a,还有很大的上升空间。

4.2 用于稀释的生态服务直接能值投入核算

Ulgianti and Brown 的一篇文章^[15]中曾强调依托现有生物圈的循环过程提供自然消解环境服务的优势,这样可以避免要用于处理废物额外的投资需求(他们称之为“熵陷阱”)。但是达到这种只有很少或者根本没有额外资源投入的战略需要就要保证自然界可以吸纳这些生产副产品,一旦超过了其能给予的生态服务功能最大值便变得不可持续。需要稀释降解水中和大气中污染物的生态服务量核算表见表 5。这里“可容忍浓度”值参照中国《地表水环境质量标准(GB3838—2002)》和中国《环境空气质量标准(GB3095—1996)》。另外,平均风速值假定为 2.50m/s(北京平均风速)。

表 4 2006 年用于污染物处理的额外的能值投入量

Table 4 Additional resources input for the waste treatment processes in 2006

| 项目 Items | 单位 Units | 原始数据 Raw amount | 能值转换率 Transformity /(sej/unit) | 能值转换率 参考文献 References | 能值 Emergy value /(sej/a) |
|--|-------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 水污染处理过程 Waterborne waste treatment processes | | | | | |
| 17 电力 Electricity | J/a | 1.48×10^{15} | 1.74×10^5 | [1] | 2.58×10^{20} |
| 18 化学添加产品 Chemical products | | | | | |
| 磷去除添加剂 Phosphorus removal reagent | kg/a | 4.26×10^6 | 4.44×10^{12} | [13] | 1.89×10^{19} |
| 絮凝剂 Flocculating reagent | kg/a | 3.53×10^5 | 4.44×10^{12} | [13] | 1.57×10^{18} |
| 氢氯酸 Hydrochloric acid | kg/a | 8.24×10^6 | 4.44×10^{12} | [13] | 3.66×10^{19} |
| 氯酸钠 Sodium chlorate | kg/a | 2.05×10^6 | 4.44×10^{12} | [13] | 9.10×10^{18} |
| 19 劳力 Labor | \$/a | 1.72×10^7 | 7.47×10^{12} | 本研究计算 | 1.28×10^{20} |
| 20 体现在商品与能源中的服务 Service embodied in fuels and goods | \$/a | 1.30×10^8 | 7.47×10^{12} | 本研究计算 | 9.74×10^{20} |
| 大气污染处理过程 Airborne waste treatment processes | | | | | |
| 21 电力 Electricity | J/a | 1.06×10^{15} | 1.74×10^5 | [1] | 1.84×10^{20} |
| 22 化学添加产品 Chemical products | | | | | |
| 脱硫添加剂 Desulfurizer | kg/a | 9.52×10^7 | 4.69×10^{12} | [9] | 4.47×10^{20} |
| 23 劳力 Labor | \$/a | 1.29×10^7 | 7.47×10^{12} | 本研究计算 | 9.62×10^{19} |
| 24 体现在商品与能源中的服务 Service embodied in fuels and goods | \$/a | 5.04×10^7 | 7.47×10^{12} | 本研究计算 | 3.77×10^{20} |
| 固体废物处理过程 Solid waste treatment processes | | | | | |
| 25 电力 Electricity | J/a | 6.64×10^{12} | 1.74×10^5 | [1] | 1.16×10^{18} |
| 26 垃圾车(考虑拆解后的原材料) Garbage truck | | | | | |
| 钢铁 steel | g/a | 5.58×10^{10} | 3.16×10^9 | [10] | 1.76×10^{20} |
| 塑料和轮胎 plastic and tires | g/a | 6.20×10^9 | 7.21×10^9 | [1] | 4.47×10^{19} |
| 柴油 Diesel for truck | J/a | 1.10×10^{13} | 1.10×10^5 | [1,4] | 1.21×10^{18} |
| 27 焚化辅助燃料 Auxiliary fuel for incineration | | | | | |
| 煤 Coal | J/a | 1.29×10^{14} | 6.69×10^4 | [14] | 8.61×10^{18} |
| 石油 Oil | J/a | 8.35×10^{12} | 9.08×10^4 | [1,4] | 7.58×10^{17} |
| 28 焚化辅助材料 Chemical products for incineration | | | | | |
| 石灰石 Limestone | g/a | 2.94×10^9 | 1.68×10^9 | [2] | 4.93×10^{18} |
| 碳酸盐 Carbonate | g/a | 2.94×10^8 | 1.68×10^9 | [2] | 4.93×10^{17} |
| 29 劳力 Labor | \$/a | 4.87×10^7 | 7.47×10^{12} | 本研究计算 | 3.64×10^{20} |
| 30 体现在商品与能源中的服务 Service embodied in Fuels and Goods | \$/a | 1.45×10^7 | 7.47×10^{12} | 本研究计算 | 1.08×10^{20} |
| 排放物循环使用 Recycle and reuse part of the emissions | | | | | |
| 31 甲烷 Methane | kg/a | 1.30×10^7 | 5.22×10^4 | [14] | 6.78×10^{11} |
| 32 肥料 Fertilizer | kg/a | 4.90×10^{10} | 2.68×10^9 | [1] | 1.31×10^{20} |

结果表明,在 2006 年,北京消费过程所排放的水体污染物要高于城市生产过程,而两个城市代谢过程排放的空气污染物非常接近。生态系统用于稀释大气污染物所提供的服务能值要远低于稀释水体污染物。因此,北京需要放着重点在消费过程(家庭消费、交通运输服务以及其他服务行业)的水体污染方面。分污染物来说,大气污染物中需要提供稀释服务能值最大的为二氧化硫(3.95×10^{19} sej/a),同时,所有的水体污染物中,用于稀释的生态服务提供能值最大的是 $\text{NH}_3\text{-N}$,比生产过程需要稀释的生态服务提供能值大 10 倍以上。

表 5 2006 年需要稀释降解水中和大气中污染物的生态服务量核算

Table 5 Ecological services needed to dilute some airborne and waterborne pollutants

| 消费过程排放 Emission in consumption process | | | | 生产过程排放 Emission in production process | | | |
|---|----------------------------|---|-----------------------|--|----------------------------|---|-----------------------|
| 类别 Items | 参考浓度 Ref. Concentration | 2006 值 Emerg value / (sej/a) | | 类别 Items | 参考浓度 Ref. Concentration | 2006 值 Emerg value / (sej/a) | |
| 1 | SO ₂ | 2.00×10 ⁻² mg/m ³ | 3.95×10 ¹⁹ | 6 | SO ₂ | 2.00×10 ⁻² mg/m ³ | 4.53×10 ¹⁹ |
| 2 | PM10 | 8.00×10 ⁻² mg/m ³ | 4.21×10 ¹⁸ | 7 | PM10 | 8.00×10 ⁻² mg/m ³ | 5.43×10 ¹⁸ |
| 3 | NO _x | 5.00×10 ⁻² mg/m ³ | 2.70×10 ¹⁹ | 8 | NO _x | 5.00×10 ⁻² mg/m ³ | 1.81×10 ¹⁹ |
| | | | | 9 | 镉 Cadmium | 1.00×10 ⁻⁴ mg/L | 3.01×10 ¹⁷ |
| | | | | 10 | 铬 Chromium | 1.00×10 ⁻² mg/L | 1.37×10 ¹⁸ |
| | | | | 11 | 铅 Lead | 1.00×10 ⁻² mg/L | 3.16×10 ¹⁷ |
| | | | | 12 | 砷 Arsenic | 1.00×10 ⁻² mg/L | 0.00 |
| | | | | 13 | 挥发酚 Volatile phenol | 2.00×10 ⁻³ mg/L | 5.85×10 ¹⁹ |
| 4 | COD | 1.50×10 ¹ mg/L | 1.01×10 ²¹ | 14 | 氰化物 Cyanide | 1.00 mg/L | 1.51×10 ¹⁶ |
| | | | | 15 | COD | 1.50×10 ¹ mg/L | 9.30×10 ¹⁹ |
| 5 | 氨氮 NH ₄ -N | 1.50×10 ⁻¹ mg/L | 1.21×10 ²² | 16 | 石油 Oil | 5.00×10 ⁻² mg/L | 2.19×10 ²⁰ |
| | | | | 17 | 氨氮 NH ₄ -N | 1.50×10 ⁻¹ mg/L | 6.49×10 ²⁰ |
| $R_{w-气}^*$ | Max(1:3) | | 3.95×10 ¹⁹ | $R_{w-气}^*$ | Max(6:8) | | 4.53×10 ¹⁹ |
| $R_{w-水}^*$ | Max(4:5) | | 1.21×10 ²² | $R_{w-水}^*$ | Max(9:17) | | 6.49×10 ²⁰ |

R_{w-i}^* : 稀释第 i 种污染物到可接受浓度的生态服务量

需要注意的是,本研究中,只是进行了一个环境吸收、稀释代谢过程副产物的粗略估算。这有一个前提假设是整个市区的生态服务是可以支撑稀释实际的污染到“可容忍浓度”。据统计,2006年北京地表水总量为 $7.6 \times 10^8 \text{ m}^3$,而当年稀释需求水量为 $3.0 \times 10^8 \text{ m}^3$,从总量上看是满足的,但是仍然存在环境背景值问题,或者即使不考虑环境背景值,北京水体也因为各种小型水库和公共供水设施阻碍水体的自然循环。换句话说,想用干净的水来稀释进行需求完全可能会超过当地现有的生态服务供给能力。

4.3 污染物排放引起的间接生态和经济能值损失核算

大气污染物对人体健康的影响包括呼吸系统疾病和气候变化等,水体污染物对其影响包括致癌效果和富营养化等^[16]。在这里考虑6个空气中的污染物(二氧化硫,粉尘,氮氧化物,二氧化碳,甲烷,氧化亚氮)和8个水中的污染物(汞,镉,六价铬,铅,砷,挥发酚,氰化物,石油类),其他污染物由于数据问题暂不考虑。

2006年,在城市消费过程中由6种大气污染物所造成人群健康损失为 $1.15 \times 10^{21} \text{ sej/a}$ 。水体污染造成的人群健康损失远远小于空气污染物城市消费过程中,氮氧化物和温室气体(二氧化碳)作为两个最大影响因素,总能值损失量为 $6.23 \times 10^{20} \text{ sej/a}$ 。二氧化碳和粉尘有最大的份额,但由于 CO_2 不是国家污染考核指标,这可能是 CO_2 造成人群健康损失最大的原因。

5 城市代谢演替分析

从表6中可以看出,自1999年以来,北京总能值使用量(U)以每年19.88%的速度不断增大,在2004年达到峰值(25.11%),这与北京改革开放后以经济建设为中心的政策是相匹配的,这期间已逐步建立以加工业快速发展、市场为导向的经济体制,这使得北京能源、原材料、劳动力的消耗同步增加。

可更新资源(包括太阳能、雨水能、风能、地热能等)在此研究的时间尺度上是看作是一个常量。值得注意的是,为了避免重复计算,这里可更新资源只考虑了雨水能(最大项)。本地不可再生资源的使用波动,主要包括石灰石、砂石和铁矿石,而这些正是建筑类行业所需要的基本材料,由于北京近年来基础建设频繁,这部分的能值使用量远大于自然表土损失和退化土壤的侵蚀。

表 6 考虑污染物造成的生态经济损失后北京 1999 年到 2006 年能值流核算表

Table 6 Summary of flows of the city 1999—2006

| 变量 Variable | 单位 Units | 指标解释 Item | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|----------------|-------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| R | sej/a | 可更新资源投入 Renewable sources | 1.05×10^{21} | 1.05×10^{21} | 1.05×10^{21} | 1.05×10^{21} | 1.03×10^{21} | 1.03×10^{21} | 1.03×10^{21} | 1.03×10^{21} |
| N | sej/a | 不可更新资源投入 Nonrenewable resources: $N = N_0 + N_1$ | 1.69×10^{22} | 1.18×10^{22} | 1.47×10^{22} | 1.88×10^{22} | 1.75×10^{22} | 1.94×10^{22} | 2.01×10^{22} | 1.37×10^{22} |
| N_0 | sej/a | 分散损耗 Dispersed rural source | 3.90×10^{19} | 3.90×10^{19} | 3.90×10^{19} | 3.90×10^{19} | 3.90×10^{19} | 3.90×10^{19} | 3.90×10^{19} | 3.90×10^{19} |
| N_1 | sej/a | 集中使用 Concentrated use | 1.68×10^{22} | 1.18×10^{22} | 1.47×10^{22} | 1.87×10^{22} | 1.75×10^{22} | 1.93×10^{22} | 2.01×10^{22} | 1.37×10^{22} |
| G | sej/a | 进口商品 Imported goods | 5.20×10^{22} | 7.45×10^{22} | 8.68×10^{22} | 1.01×10^{23} | 1.21×10^{23} | 1.51×10^{23} | 1.73×10^{23} | 1.89×10^{23} |
| F | sej/a | 进口化石燃料 Imported fuels | 9.94×10^{22} | 1.07×10^{23} | 1.10×10^{23} | 1.07×10^{23} | 1.18×10^{23} | 1.36×10^{23} | 1.50×10^{23} | 1.60×10^{23} |
| P_2I | sej/a | 购买的服务 Purchased services | 5.05×10^{22} | 7.28×10^{22} | 7.63×10^{22} | 8.37×10^{22} | 1.13×10^{23} | 1.38×10^{23} | 1.70×10^{23} | 1.02×10^{23} |
| P_2I_2 | sej/a | 旅游能值收入 Energy for tourism | 4.46×10^{22} | 5.52×10^{22} | 6.85×10^{22} | 7.17×10^{22} | 5.21×10^{22} | 8.50×10^{22} | 9.74×10^{22} | 1.15×10^{23} |
| P_2I_3 | sej/a | 支付劳力的能值 Energy paid for imported labor | 6.62×10^{20} | 9.43×10^{20} | 1.29×10^{21} | 1.44×10^{21} | 1.87×10^{21} | 2.33×10^{21} | 3.65×10^{21} | 3.65×10^{21} |
| U | sej/a | 总能值使用量 $U = R + N + G + F + P_2I + P_2I_3$ | 2.20×10^{23} | 2.68×10^{23} | 2.91×10^{23} | 3.13×10^{23} | 3.73×10^{23} | 4.47×10^{23} | 5.18×10^{23} | 4.69×10^{23} |
| R_w^* | sej/a | 为降解污染物投入的生态服务量 Energy of ecological services needed to dissipate the emissions | 2.63×10^{22} | 5.19×10^{22} | 4.91×10^{22} | 4.99×10^{22} | 4.43×10^{22} | 1.90×10^{22} | 1.60×10^{22} | 1.42×10^{22} |
| $L_{w,1}^*$ | sej/a | 由于污染造成的人群致残致死损失量 Energy of the human life losses caused by the emissions | 1.59×10^{21} | 1.71×10^{21} | 1.75×10^{21} | 1.78×10^{21} | 1.97×10^{21} | 2.55×10^{21} | 3.02×10^{21} | 2.58×10^{21} |
| $L_{w,2}^*$ | sej/a | 由于污染造成的生态损失量 Energy of the ecological losses due to the emissions | 2.65×10^{21} | 2.82×10^{21} | 2.66×10^{21} | 2.74×10^{21} | 2.42×10^{21} | 1.81×10^{21} | 2.71×10^{21} | 3.01×10^{21} |
| $L_{w,3}$ | sej/a | 由于废物填埋造成的土地占用经济损失量 Energy of the land occupation caused by the emissions | 1.21×10^{19} | 1.54×10^{19} | 1.76×10^{19} | 1.87×10^{19} | 2.75×10^{19} | 3.96×10^{19} | 4.84×10^{19} | 4.98×10^{19} |
| E_w | sej/a | 用于污染物处理的经济投入 Energy investment for waste treatment | 1.33×10^{21} | 1.52×10^{21} | 1.62×10^{21} | 1.99×10^{21} | 2.37×10^{21} | 2.85×10^{21} | 2.73×10^{21} | 3.24×10^{21} |
| F_b | sej/a | 污染物处理后的回用量 Feedback energy | 2.35×10^{19} | 2.68×10^{19} | 3.19×10^{19} | 5.35×10^{19} | 8.15×10^{19} | 1.17×10^{20} | 1.45×10^{20} | 1.31×10^{20} |

表 6 中还罗列了 2006 年北京主要进口投入能值量。进口总额从 1999 年的 1.51×10^{23} sej/a 跃升为 2006 年的 3.49×10^{23} sej/a。总进口的商品中,化石燃料从 8.84×10^{22} sej/a 上升到 1.35×10^{23} sej/a,增长了 1.52 倍。建材(包括铁矿石、钢铁等)由 4.32×10^{22} sej/a 增长到 1.70×10^{23} sej/a,足足增加了 3.92 倍。这表明近些年北京的经济越来越依赖于基础设施建设,这种趋势甚至取代了能源转化行业。而出口方面石油化工产品、矿产品机械与运输设备的能值最大。如表 2 所示,北京进口的服务能值达到 2.04×10^{23} sej/a,比 1999 年增长了 4.04 倍。由于进口量的急剧增大,使得能源自给率下降明显。另外,通过拆解进口来源,发现从其他省份进口的服务是从国外进口服务的 7.6 倍,这表明北京的进口仍然依赖于国内市场间的供需传递。而旅游和支付劳力也增长显著,相较 1999 年分别增大了 2.58 倍和 5.52 倍。1999 年到 2006 年,煤炭仍是北京最重

要的基础需求能源,可以看出 2000 年煤炭使用减少,而后急速增加,这应与北京备战奥运的大规模投入相关。与此同时,北京使用来自其他省市的石油稳步下降,从国外进口煤、石油增速明显,电力使用量也逐年增大(11%到13%)。与此同时,北京重视了对清洁能源的使用,天然气已跃居为第四大能源消费,其增长趋势与电力使用量相一致。不考虑体现在使用商品中的服务,钢铁和矿石的消费量所占比例最大,而与其相关的建筑用砂石消费也较高。而在表 2 中,考虑了体现在商品中的服务,可以看到,高新技术产品、机械和电气设备的增加明显,这也说明,北京的产品消耗种类在这几年发生较大变化,而高新技术产品背后所蕴含的巨大的劳动力和服务,使其也成为北京市物质消耗能值的第 3 位。

6 北京市能值指标分析

在本节中,通过能值指标的分析来考察北京代谢系统经济结构特点。

6.1 能值强度

能值强度指单位面积使用能值量,该指标用以描述城市经济活动或城市发展强度和集约程度。如表 7 所示,北京能值强度,从 1999 年的 1.85×10^{13} sej/m² 增长到 2006 年的 4.59×10^{13} sej/m²,这表明,在过去几年中,北京保持了较快的经济增长,并取得了经济总量的新高。从计算数据中可以发现,这一增长主要是进口高能值转换的商品和服务所引起的。结合能值利用结构和北京人均能值利用量,可以看出,在北京所消耗的总资源,可更新资源输入非常少,大部分是从境外购买的商品和服务,这也意味着,当地居民的生活水平和城市经济的发展完全依赖于从外部资源购买。

表 7 能值指标分析表

Table 7 The table of emergy indices

| 变量 Variable | 指标解释 Item | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 |
|----------------|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| EYR | $U/(G+F+P_2I+P_2I_3)$ | 1.09 | 1.05 | 1.06 | 1.07 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.03 |
| EYR' | $(U+R_w^*+I_{w,1}^*+I_{w,2}^*+I_{w,3}^*)/(G+F+P_2I+P_2I_3+R_w^*+I_{w,1}^*+I_{w,2}^*+I_{w,3}^*)$ | 1.08 | 1.04 | 1.05 | 1.06 | 1.05 | 1.05 | 1.04 | 1.03 |
| ELR' | $(N+G+F+P_2I+P_2I_3)/R$ | 208 | 254 | 275 | 295 | 361 | 434 | 502 | 455 |
| ELR | $(N+G+F+P_2I+P_2I_3+R_w^*+I_{w,1}^*+I_{w,2}^*+I_{w,3}^*)/R$ | 237 | 307 | 325 | 347 | 409 | 456 | 523 | 474 |
| ESI | EYR/ELR | 5.23×10^{-3} | 4.14×10^{-3} | 3.85×10^{-3} | 3.61×10^{-3} | 2.91×10^{-3} | 2.42×10^{-3} | 2.08×10^{-3} | 2.27×10^{-3} |
| ESI' | EYR'/ELR' | 4.54×10^{-3} | 3.39×10^{-3} | 3.22×10^{-3} | 3.05×10^{-3} | 2.56×10^{-3} | 2.29×10^{-3} | 1.99×10^{-3} | 2.17×10^{-3} |

6.2 进/出口结构

对于城市生态系统,能值居民享有的福利也可以通过比较资源的进口和出口,这是通过两个比率占透露,一个是出口和进口之间的差额,另一种是进口/出口。

一个城市的出口和进口的能值之间的时间内超过净差额反映资源流向不同地区之间的贸易发生时的过程。评估能值帐户的交易,揭示了“真正的财富”的交流,因此,从传统的贸易原则,是相当不同的。相反,当出口大于进口,即出口与进口的比例如果是超过 1,则反映城市出口真实的财富,这会被证明是一个“生态贸易”逆差;当进口高于出口,即该比率小于 1,则意味着进口占主导地位的平衡,表现出一种良好的贸易状态。

从 1999 年到 2006 年,北京的出口/进口比率都是小于 1。在此期间,北京工业的快速发展带来了快速的能源需求,使油耗增加从 1999 年的 1.01×10^{23} sej/a 增加到 2006 年的 1.90×10^{23} sej。这些燃料的大部分是用于工业、建筑业和交通部门。在此期间,进口能值比的最大差异出现在 2005 年和 2006 年的出口能值上。

6.3 环境影响

环境负荷率(ELR)是本地的不可再生能源值和购买能值(包括服务)与本地可再生能源值的比值。相比一个

成熟的自组织系统,环境承载力越高,表明其更多地依赖于间接的资源。北京环境承载率数值增加剧烈,从1999年的208增长到2006年的455。这种数据只是为今后的城市发展规划提供一个“生态中心”的价值而不是“人类中心”的价值观做铺垫,这一点后面会有相关的解释。

6.4 环境可持续发展指数

环境可持续发展指数是总的经济收益(EYR)与总的环境负荷(ELR)之比。该指标根据生态经济复合系统的特点,既考虑了从客观出发分析系统的环境压力,又考虑到了系统生产在人类社会经济中的实际作用,由此得出的能值可持续发展指数。非常明显,北京的可持续发展指数在不断下降,这也与人们常提到的仅凭外界的进口跟掠夺式的本地开发促成的城市不可持续发展不谋而合。

6.5 修正后能值指标综合评价

能值产出率(EYR)可以看出对本地资源的依赖程度,只有达到更多可更新资源的利用,才可能更好的确保城市的可持续发展。在这里重点查看由于考虑了污染物造成的生态和经济损失后对指标的影响,从表中可以看出,损失对能值产出率的影响不并不大,即使在1999年这种污染物排放较大的年份。而环境负荷率(ELR)的影响较大,环境负荷率进一步提高(ELR')考虑污染物造成的生态和经济损失后,由于间接输入流主要是不可再生的能源,增加了相应的投入。

环境可持续指标ESI'值作为能值产出率和环境负荷率的比值,也发生了相应的变化。由于减少了产出比(EYR'<EYR)以及增加了负荷率(ELR'>ELR)的综合效应,可持续指数ESI'值显著下降,在1999年下降明显,达8.2%,2006年也有3.5%的降低,但基本的趋势并没有改变。研究也表明,由于污染物排放的影响,确实通过人群健康的影响和城市生态资本的损失大大拉低了城市代谢系统的可持续性。

对比近年来城市代谢的相关研究,其中Li and Wang计算出北京家庭代谢能值总量为 1.06×10^{16} sej/a, ELR为104.60^[17];Zhang等计算出北京2004年能值总量为 6.514×10^{23} sej/a, ELY为531.23^[18]。之前结果普遍结果都偏大,原因在于由于难以处理进出口复杂商品,这些研究中普遍是采用进出口货币量来折算能值量,这样与实际考虑商品种类和包含的劳动和服务价值要大的多(因为进口商品能值核算不应该乘以国内能值货币比),而由于仅考虑污染物排放量,没有考虑污染物排放造成的损失量,所以计算出的ELR也偏大。

7 讨论与结论

本文基于作者以往研究,以北京为例,运用生态热力学的方法对北京市1999年到2006年的代谢过程进行热力学核算,对复杂商品的能值计算进行修正,并拆解了不同尺度的商品来源,研究了排放物的环境影响,但仅仅评价是不够的,主要问题还在于(1)概念模型仍然太简化;(2)多尺度嵌套体现在哪里;(3)如何理解结论中提出的“绝对比例的进口跟掠夺式的本地开发促成的城市不可持续”。

对环境和人类社会经济系统之间的关系可以很容易地被理解并且建模出一个整体的世界体系(见图1),利用能路语言,来描述地区之间的能源和物质的流动,以及相应的控制(反馈)机制。这样可以很直观的来看出能量与物质的流动与汇集。

从之前的计算和分析的结果可以得出北京的一些并不超出我们预期的结论,如北京从国内其他省市的进口要比从其他国家进口高52.7倍;北京使用的能值总量远不及其所应该支付的货币量;北京极高的环境负荷远不是本地可更新资源可以消纳;而由于GDP和能值使用量的“挂钩”使得实现北京经济的发展在不可持续的道路前进一步(图1)。

如图1所示,能值流从左至右从城市到国家最终实现全球累积,而货币流作为交易的反馈流与能值流逆方向流动。由于各个国家的资本情况不同,资本强的国家可以通过加速资本流运作实现更多的能值流的进入,这种不公平的交易可以看成是一种目的在于区域自我增强的新殖民主义倾向。而更多实际情况是由于贫困和资源分布的不均衡,财富很多情况的分配是取决于权利、关系而不是公平。从图1可以看出,这种权利控制线由右至左,影响着物质与能量向着区域流动,用以加强核心区域的自我累计。这也证明了中国依赖社会的复杂结构,凭借部分地区的政治和经济力量,通过技术转变进行中国(世界)市场转化,加速了一些产业核

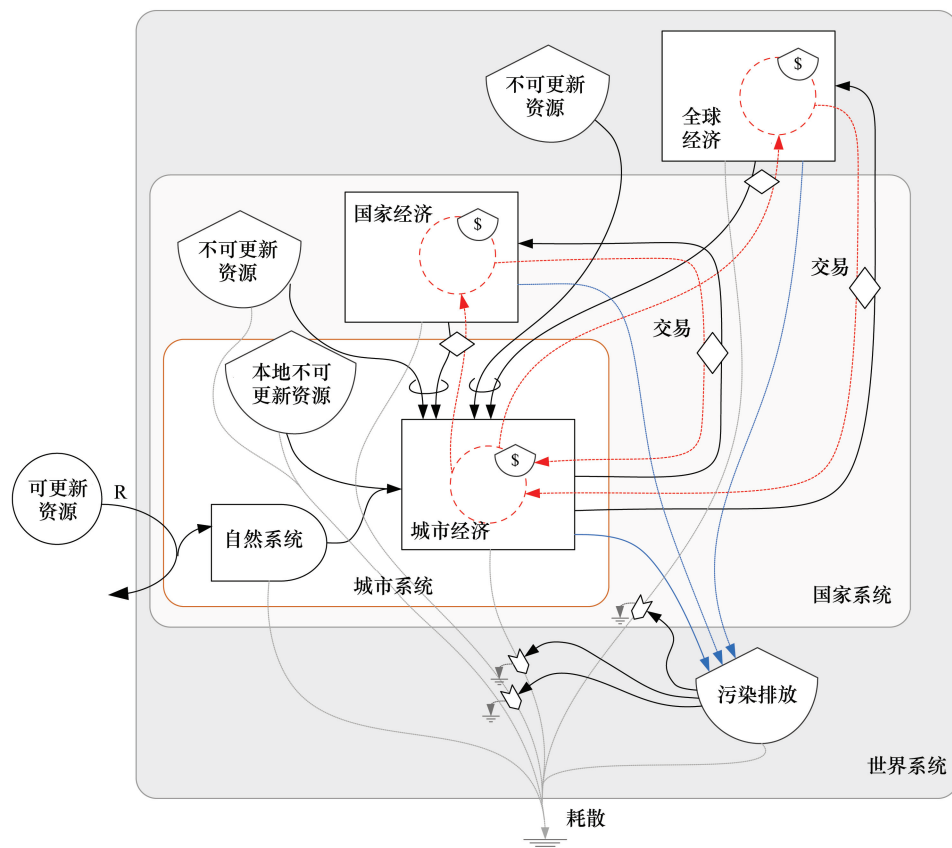


图1 城市代谢系统在国家与世界体系中的地位与作用

Fig.1 The urban metabolic system position and role in the national and world system

心区的能量流输入。

图1还从另一个角度说明了这种多尺度嵌套的效果和影响,上面是说总能值使用量上的控制,还有一个方面是污染物产生的影响。由于污染物的迁移和温室气体的全球影响,使得人们对污染物的考虑不能仅限于本地的自净与填埋,而要考虑其对于全国甚至全球的生态风险,也要考虑污染物在国家尺度和全球尺度的贮存和累积。

如上所述,用能值这样一个能量累计的概念并不是全新的,但是以此扩大出一个全新的基于世界体系的都市代谢理论,如“城市依赖理论”等,用以说明不同的城市可能定位于生产者或者消费者的不同角色,而在这种不公平不均衡的发展过程中,本身是什么角色并不重要,而是在于相互之间是什么样的关系。所以当看到城市绝对比例的进口跟掠夺式的本地开发时,它并不一定是不可持续的,而是形成了一种全国关联或者全球关联的聚团,而处于核心地位的城市通过经济、政治优势浓缩了周边的资源、人力及价值的创造,而真正的不可持续的是与它紧密关联的其他区域。本研究构建了城市、国家、全球多层嵌套模型,旨在通过能量流和交易过程形成全球关联的快照。而不同区域生产的产品离开生产者,它代表了一种类型的资源,但由于不同区域提供的产品体现服务不同,最终到达消费者之前,其最终的贸易值其实发生了巨大变化^[19]。如资源型城市出口产品体现服务价值很低,高科技产品体现了巨大的服务价值。所以能值分析的方法可以统一真实物理量值和体现价值,实现人与自然界面的交互。本研究试图为城市代谢研究提供一个新的视角,为实现城市系统调控和整体规划提供一定的理论支持。

References:

- [1] Odum H T, Brown M T, Brandt-Williams S B. Handbook of Emery Evaluation: A Compendium of Data for Emery Computation Issued in a Series

- of Folios. Gainesville: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2000.
- [2] Brandt-Williams S. Handbook of emery evaluation; Folio #4, center for environmental policy. Environmental Engineering Sciences. Gainesville: University of Florida, 2001.
- [3] Romitelli M S. Emery analysis of the new Bolivia — Brazil gas pipeline // Brown M T, ed. Emery Synthesis: Theory and Applications of the Emery Methodology. Gainesville, FL: Center for Environmental Policy. University of Florida, 2000: 53-69.
- [4] Bastianoni S, Campbell D E, Ridolfi R, Pulselli F M. The solar transformity of petroleum fuels. Ecological Modelling, 2009, 220(1): 40-50.
- [5] Yan M C, Odum H T. A study on emery evaluation and sustainable development of Tibet eco-economic system. Journal of Natural Recourse, 1998, 13(2): 116-125.
- [6] Odum H T, Diamond C, Brown M T. Emery analysis and public policy in Texas // Policy Research Project Report. Ecological Economics, 1987, 12: 54-65.
- [7] Ulgiati S, Odum H T, Bastianoni S. Emery use, environmental loading and sustainability an emery analysis of Italy. Ecological Modelling, 1994, 73(3/4): 215-268.
- [8] Lan S F, Odum H T. Emery evaluation of the environment and economy of Hong Kong. Journal of Environmental Science, 2004, 6(4): 432-439.
- [9] Brown M T, Ulgiati S. Emery analysis and environmental accounting. Encyclopedia of Energy, 2004, 2: 329-354.
- [10] Bargigli S, Ulgiati S. Emery and life-cycle assessment of steel production in Europe // Brown M T, Odum H T, Tilley D, Ulgiati S, eds. Emery Synthesis, Theory and Applications of Emery Methodology. Gainesville, FL: Center for Environmental Policy, University of Florida, 2003: 141-155.
- [11] Goedkoop M, Spriensma R. The Eco-Indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment; Methodology Report. Amersfoort: PRé Consultants, 2000.
- [12] Murray C J L, Lopez A D, Jamison D T. The global burden of disease in 1990: summary results, sensitivity analysis and future directions. Bulletin of the World Health Organization, 1994, 72(3): 495-509.
- [13] Grönlund E, Klang A, Falk S, Hanæus J. Sustainability of wastewater treatment with microalgae in cold climate, evaluated with emery and socio-ecological principles. Ecological Engineering, 2004, 22(3): 155-174.
- [14] Odum H T. Environmental Accounting: EMERGY and Environmental Decision Making. New York: John Wiley & Sons, 1996: 370-370.
- [15] Ulgiati S, Brown M T. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions; the case of electricity production. Journal of Cleaner Production, 2002, 10(4): 335-348.
- [16] Ukidwe N U, Bakshi B R. Industrial and ecological cumulative exergy consumption of the United States via the 1997 input-output benchmark model. Energy, 2007, 32(9): 1560-1592.
- [17] Li D, Wang R S. Hybrid Emery-LCA (HEML) based metabolic evaluation of urban residential areas; the case of Beijing, China. Ecological Complexity, 2009, 6(4): 484-493.
- [18] Zhang Y, Yang Z F, Liu G Y, Yu X Y. Emery analysis of the urban metabolism of Beijing. Ecological Modelling, 2011, 222(14): 2377-2384.
- [19] Hauge A. Dedicated followers of fashion: An economic geographic analysis of the Swedish fashion industry // Geografiska regionstudier. Sweden: Department of Social and Economic Geography, Uppsala University, 2007.

参考文献:

- [5] 严茂超, Odum H T. 西藏生态经济系统的能值分析与可持续发展研究. 自然资源学报, 1998, 13(2): 116-125.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 16 Aug. ,2013(Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Advances in theoretical issues of species distribution models LI Guoqing, LIU Changcheng, LIU Yuguo, et al (4827)
- A review on rare earth elements in farmland ecosystem JIN Shulan, HUANG Yizong (4836)
- A review on the mechanism of attachment and metamorphosis in barnacle cyprids ... RAO Xiaozhen, LIN Gang, XU Youqin (4846)
- Decision making in group living animals WANG Chengliang, WANG Xiaowei, QI Xiaoguang, et al (4857)

Autecology & Fundamentals

- Influence of monsoon's advancing, retreating and conversion on migrations of *Nilaparvata lugens* (Stål) in China
..... BAO Yunxuan, HUANG Jinying, XIE Xiaojin, et al (4864)
- Prey selection and feeding rate of sea stars *Asterias amurensis* and *Asterina pectinifera* on three bivalves
..... QI Zhanhui, WANG Jun, MAO Yuze, et al (4878)
- Habitat selection of Whooper Swan at Bayanbulak in Xinjiang of China DONG Chao, ZHANG Guogang, LU Jun, et al (4885)
- The genetic structure of endemic plant *Pteroceltis tatarinowii* by ISSR markers
..... LI Xiaohong, ZHANG Hui, WANG Deyuan, et al (4892)
- Genetic analysis of salt tolerance of F₁ progenies between chrysanthemum and the intergeneric hybrid of chrysanthemum and
crossostephium XU Lili, CHEN Fadi, CHEN Sumei, et al (4902)
- Indicative effect of the anatomical structure of plant photosynthetic organ on WUE in desert region
..... ZHANG Haina, SU Peixi, LI Shanjia, et al (4909)
- Effects of water on photosynthesis in different age of tomato leaves CHEN Kaili, LI Jianming, HE Huiqiang, et al (4919)
- Photosynthesis-nitrogen relationship in evergreen and deciduous tree species at different altitudes on Mao'er Mountain, Guangxi
..... BAI Kundong, JIANG Debing, WAN Xianchong (4930)
- Effect of fertilization on the dynamic of soil N₂O fluxes in Chinese chestnut stands
..... ZHANG Jiaojiao, LI Yongfu, JIANG Peikun, et al (4939)
- Effects of long-term fertilization on aggregate dynamics and organic carbon and total nitrogen contents in a reddish paddy soil
..... LIU Xiyu, WANG Zhongqiang, ZHANG Xinyu, et al (4949)

Population, Community and Ecosystem

- Carbon storage of natural wetland ecosystem in Daxing'anling of China MU Changcheng, WANG Biao, LU Huicui, et al (4956)
- Monitoring the riparian vegetation cover after the Wenchuan earthquake along the Minjiang River valley based on multi-temporal
Landsat TM images; a case study of the Yingxiu-Wenchuan section XU Jiceng, TANG Bin, LU Tao (4966)
- A dynamic analysis of spatial distribution pattern of *Larix gmelinii* natural forest in Pangu farm under varying intensity of fire
disturbance NI Baolong, LIU Zhaogang (4975)
- Structure of macrozoobenthos in lakes along the Yangtze River and relationships with environmental characteristics
..... CAI Yongjiu, JIANG Jiahu, ZHANG Lu, et al (4985)
- The research on the age structure and sex ratio of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake
..... ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (5000)
- Mathematical model of insect Logistic increasing and economic threshold based on sex pheromone trap
..... ZHAO Zhiguo, RONG Erhua, ZHAO Zhihong, et al (5008)
- Community composition and phototaxis of insects in tea plantations in Southern Jiangshu Province during late fall
..... ZHENG Yingcha, NIU Yuqun, CUI Guiling, et al (5017)
- Effect of agricultural land use types on soil mite communities in north China
..... HAN Xuemei, LI Dandan, LIANG Zian, et al (5026)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Exploring the space syntax under negative planning; a case study of landscape connectivity based on the behaviors of avian edge
species YANG Tianxiang, ZHANG Weiqian, FAN Zhengqiu, et al (5035)
- Temporal-spatial variation of heterotrophic respiration in alpine area of southwestern China
..... ZHANG Yuandong, PANG Rui, GU Fengxue, et al (5047)

- Variability of soil organic matter and its main factors in Jiangsu Province ZHAO Mingsong, ZHANG Ganlin, LI Decheng, et al (5058)
- Spatial distribution and change of vegetation carbon in Northwest Guangxi, China on the basis of vegetation inventory data ZHANG Mingyang, LUO Weijian, LIU Huiyu, et al (5067)
- Resource and Industrial Ecology**
- Urban metabolism process based on emergy synthesis; a case study of Beijing LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (5078)
- Evaluation on cultivated land ecological security based on the PSR model and matter element analysis ZHANG Rui, ZHENG Huawei, LIU Youzhao (5090)
- The effect of super absorbent polymer on the growth and nutrition absorption of *Festuca arundinacea* L. on an improved gangue matrix ZHAO Zhifeng, WANG Dongmei, ZHAO Tingning (5101)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- The effect of distance on the ecological conservation value; a case study of Sanjiang Plain Wetland AO Changlin, CHEN Jinting, JIAO Yang, et al (5109)
- Research Notes**
- Scaling effect on spatial variation of soil organic carbon in mountainous areas of Guangdong Province JIANG Chun, WU Zhifeng, QIAN Lexiang, et al (5118)
- The changes of hair length and pelage thermal insulation in captive female squirrel, *Sciurus vulgarize manchuricus*, during autumn molting period JING Pu, ZHANG Wei, HUA Yan, et al (5126)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 王克林 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第16期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 16 (August, 2013)

| | | | |
|-------------|--|------------------------|---|
| 编辑 | 《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by | Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn |
| 主编 | 王如松 | Editor-in-chief | WANG Rusong |
| 主管 | 中国科学技术协会 | Supervised by | China Association for Science and Technology |
| 主办 | 中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路18号 邮政编码:100085 | Sponsored by | Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China |
| 出版 | 科学出版社 地址:北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717 | Published by | Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China |
| 印刷 | 北京北林印刷厂 | Printed by | Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China |
| 发行 | 科学出版社 地址:东黄城根北街16号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@espg.net | Distributed by | Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net |
| 订购 | 全国各地邮局 | Domestic | All Local Post Offices in China |
| 国外发行 | 中国国际图书贸易总公司 地址:北京399信箱 邮政编码:100044 | Foreign | China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China |
| 广告经营 | 京海工商广字第8013号 | | |



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元