

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第6期 Vol.34 No.6 **2014**

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 34 卷 第 6 期 2014 年 3 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 全球气候变暖对凋落物分解的影响..... 宋 飘,张乃莉,马克平,等 (1327)
- 从系统到景观:区域物质流分析的景观取向 张晓刚,曾 辉 (1340)
- 论湿地生态系统服务的多维度价值评估方法..... 宋豫秦,张晓蕾 (1352)
- 保幼激素在昆虫中的分子作用机理..... 金敏娜,林欣大 (1361)
- 岩画和壁画类文物微生物病害研究进展..... 李 强,葛琴雅,潘晓轩,等 (1371)
- 基于 3S 技术的图们江流域湿地生态安全评价与预警研究 朱卫红,苗承玉,郑小军,等 (1379)
- 跨界保护区网络构建研究进展..... 王 伟,田 瑜,常 明,等 (1391)

个体与基础生态

- 速生树种尾巨桉和竹柳幼苗耗水特性和水分利用效率..... 邱 权,潘 昕,李吉跃,等 (1401)
- 三种增温情景对入侵植物空心莲子草形态可塑性的影响..... 褚延梅,杨 健,李景吉,等 (1411)
- 气象要素及土壤理化性质对不同土地利用方式下冬夏岩溶作用的影响 刘 文,张 强,贾亚男 (1418)
- 施用纳米碳对烤烟氮素吸收和利用的影响..... 梁太波,尹启生,张艳玲,等 (1429)
- 基于 Voronoi 图的林分空间模型及分布格局研究 刘 帅,吴舒辞,王 红,等 (1436)
- 近自然毛竹林空间结构动态变化..... 仇建习,汤孟平,沈利芬,等 (1444)
- 基于种实性状的无患子天然群体表型多样性研究..... 刁松峰,邵文豪,姜景民,等 (1451)
- 不同林分起源的相容性生物量模型构建..... 符利勇,雷渊才,孙 伟,等 (1461)

种群、群落和生态系统

- 毛竹材用林林下植被群落结构对多花黄精生长的影响..... 樊艳荣,陈双林,杨清平,等 (1471)
- 温度和 CO₂ 浓度升高下转 *Bt* 水稻种植对土壤活性碳氮和线虫群落的短期影响
..... 陈 婧,陈法军,刘满强,等 (1481)
- 中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态 李 洁,张远东,顾峰雪,等 (1490)
- 遥感与 GIS 支持下的盘锦湿地水禽栖息地适宜性评价..... 董张玉,刘殿伟,王宗明,等 (1503)
- 秦岭火地塘林区土壤大孔隙分布特征及对导水性能的影响..... 陆 斌,张胜利,李 侃,等 (1512)
- 磷浓度对铜绿微囊藻、大型溞和金鱼藻三者相互作用的影响..... 马剑敏靳 萍,郭 萌,等 (1520)
- 普生轮藻浸提液对两种淡水藻类的化感抑制作用及其数学模型..... 何宗祥,刘 璐,李 诚,等 (1527)
- 北京永定河-海河干流河岸带植物的区系分析 修 晨,欧阳志云,郑 华 (1535)
- 基于河流生境调查的东河河流生境评价..... 王 强,袁兴中,刘 红,等 (1548)

景观、区域和全球生态

应用 SWAT 模型研究潮河流域土地利用和气候变化对径流的影响 郭军庭,张志强,王盛萍,等 (1559)

长白山不同海拔树木生长对气候变化的响应差异..... 陈 力,尹云鹤,赵东升,等 (1568)

石家庄市空气花粉散布规律及与气候因子的关系..... 李 英,李月丛,吕素青,等 (1575)

不同放牧梯度下呼伦贝尔草甸草原土壤碳氮变化及固碳效应..... 闫瑞瑞,辛晓平,王 旭,等 (1587)

南四湖区农田土壤有机质和微量元素空间分布特征及影响因素..... 武 婕,李玉环,李增兵,等 (1596)

资源与产业生态

跨国土地利用及其生态影响 陆小璇 (1606)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 30 * 2014-03



封面图说: 图们江河流中段——图们江位于吉林省东南边境,发源于长白山东南部的石乙水,河流的绝大部分是中国与朝鲜的界河,下游很小一段为俄罗斯与朝鲜的界河,并由这里流入日本海,我国珲春距离日本海最近的地方仅有 15km。图们江是我国重要的国际性河流之一,随着我国经济的迅速崛起,图们江地区进入到多国合作联合开发阶段,湿地生态系统处于中度预警状态,并有向重度预警发展的趋势,生态安全面临的威胁越来越严重。对该区域进行湿地生态安全评价与预警研究,可为图们江流域生态环境的可持续发展提供依据。图中河道的远方为朝鲜、河道近方为中国。

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/stxb201210251480

张晓刚, 曾辉. 从系统到景观: 区域物质流分析的景观取向. 生态学报, 2014, 34(6): 1340-1351.

Zhang X G Zeng H. From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(6): 1340-1351.

从系统到景观: 区域物质流分析的景观取向

张晓刚¹, 曾 辉^{1,2,*}

(1. 北京大学深圳研究生院深圳市循环经济重点实验室, 深圳 518055; 2. 北京大学生态学系, 北京 100871)

摘要: 物质流过程是考察系统属性的重要维度。区域物质流分析在研究框架、指标体系、数据集成、管理应用等方面的发展困境, 都不同程度地反映了“黑箱假设”以及“系统隐喻”等产业生态学理论的应用局限性。基于整合复杂性科学、广义进化论的生态学组织层次理论, 对区域物质流分析开展理论探讨, 指出应在原有的“系统”思维之外引入“景观”概念, 以拓展区域物质流分析的空间与认知维度。基于“从系统到景观”的理念, 将景观生态学原理引入区域物质流分析, 建构区域物质流分析的景观取向, 并从空间结构与认知图式两个方面对这一取向的核心涵义做以解读。结合区域物质流分析的最新研究案例, 从多尺度 MFA 的综合研究框架、物质流动过程的时空集成研究、物质流动过程的空间行为管理等几个方面, 对区域物质流分析的景观取向做了进一步探讨。

关键词: 物质流; 产业生态学; 景观生态学; 空间结构; 认知图式

From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis

ZHANG Xiaogang¹, ZENG Hui^{1,2,*}

1 Shenzhen Key Laboratory of Circular Economy, Shenzhen Graduate School of Peking University, Shenzhen, 518055, China

2 Department of Ecology, Peking University, Beijing, 100871, China

Abstract: Material flow analysis (MFA) is an objective, quantifiable and concise tool for system assessment. As the core content of industrial ecology, it includes bulk-MFA and substance flow analysis (SFA), has been widely applied in different environmental-economic systems at global-level, nation-level, region-level and city-level, and developed into a significant tool in quantifying circular economy, eco-efficiency, low-carbon society and other concepts of sustainable development. In recent years, as MFA at the nation-level come to be a standard research method on the basis of studies carried by World Resources Institute and European Commission, research importance of MFA at smaller scale highlights, and studies of material flow, metabolism and resource flow at regional level become the focus and hotspots of MFA. Based on analysis of existing studies, current status of regional MFA is briefly reviewed from perspectives of research framework, indicator system, data integration and management application, and “black box hypothesis” and “systematic metaphor” turned out to be the theoretical root of current difficulty of regional MFA. Based on levels of organization integrated with complexity science and grand evolutionary theory, metaphor of “ecosystem” in industrial ecology as well as regional MFA is generally analyzed, and the necessity of introduction of “landscape” into regional MFA is raised to improve the spatial and cognitive dimension of regional MFA. From “system” to “landscape”, landscape ecology principles are introduced in the regional MFA, contributions of landscape ecology in regional MFA are generalized in 6 tenets: 1) emphasizing the structural difference between natural ecosystem and socio-economic system, and providing a hierarchical and integrative

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41071117, 40830747)

收稿日期: 2012-10-25; 修订日期: 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zengh@szpku.edu.cn

ecological basis; 2) the landscape (or region) as a basic spatial unit for studying human-nature interactions, providing a holistic approaches to socio-ecological systems; 3) combine “flow” in MFA with “source” and “sink” in landscape, combine “stock or reservoir” with “patch”, and “flow or flux” with “corridor”, and transfer “material flow in system” into “material flow in space”; 4) developing material flow observation, investigation and experiment in landscape, combine subjective and objective data in a mechanistic method; 5) combine material flow of great amount with patch dynamic and assess the environmental impact based on spatial variation; 6) combine MFA with other tools of sustainability assessment like ecological footprint and sustainable livelihood, and providing implications for regional management. Based on “Patch-Corridor-Matrix Model”, “patch dynamics”, “Hierarchy theory”, as well as the “Hierarchical Patch Dynamic Paradigm (HPDP)”, spatial structure of regional material flow process is established and interpreted. Meanwhile, cognitive schemata of regional material flow process is analyzed and compared from psychological and logical perspectives. For further interpretation of the landscape orientation of regional MFA, multi-scale integrated assessment of material flow analysis, spatial-temporal modeling of material flow process and spatial management of material flow process are discussed deeply. At the end of this paper, regional MFA is further considered from a perspective of interdisciplinary, it concludes that rather than reflects the competition between ecosystem ecology and landscape ecology, paradigm shift from system to landscape of regional MFA solidifies the theoretical basis of MFA, and expands the research field of landscape ecology.

Key Words: material flow; industrial ecology; landscape ecology; spatial structure; cognitive schemata

物质流过程是考察系统属性的重要维度。物质流分析(MFA)是指在一定的时空范围内,关于特定系统的物质通量和分布情况的系统测量和分析^[1]。以“黑箱假设”为代表的系统思维作为一种简化途径,极大地促进了国家尺度 MFA 的标准化^[2-5],却在区域层面 MFA 的推进过程中显得捉襟见肘。综述研究现状我们不难发现,当前区域 MFA 在研究框架、指标体系、数据集成和管理应用等方面都不同程度地陷入了发展困境,而以“黑箱假设”与“系统隐喻”为基础的产业生态学理论在区域 MFA 中的应用局限性不容忽视。放眼生态学视域,本文旨在对区域 MFA 发展困境的理论根源展开深入分析,并对区域 MFA 的景观生态学取向加以探讨,以完善区域物质流分析与管理的理论基础。

1 区域物质流分析的发展现状

MFA 的基本思想可以追溯到 100 多年之前^[6],而后出现在多个研究领域^[1,7]。随着可持续发展理念的深入,MFA 作为一种系统研究手段不断发展成熟^[8],集成了整体物质流分析(bulk-MFA)、材料流分析(SFA)^[9]、生命周期评价(LCA)等丰富的研究内涵^[10],并因客观、量化、简洁等优点而在全球、国家、区域等不同层次的经济系统^[7,11]和产业部门、工业园区或企业个体广泛应用^[12-13],进而成为循环经

济、生态效率、低碳社会等可持续发展理念的重要评估手段。近年来,在产业生态学学科框架下^[14-15],国家 MFA 已实现标准化^[2-5],中小尺度的 MFA 研究需求凸显^[16],区域层面的物质流、物质代谢^[17-21]、资源流^[22-24]等研究成为 MFA 的重点与热点。然而就研究框架、指标体系、数据集成、管理应用等方面而言,区域 MFA 的推进还面临区域管理的诸多挑战,理论基础依然薄弱。

(1) 区域物质流分析的研究框架:国家层次的 MFA 虽然开展较晚,但立足宏观经济学思想与经济系统的黑箱假设建构了有效的研究框架,迅速积累了丰富的案例研究^[15,25];因此,虽然区域 MFA 的基本思想可以追溯到更早的城市代谢概念^[26-28],并与生命周期评价(LCA)等研究方向相互交叉^[14],但其基本研究框架仍然被认为是国家层面 MFA 的黑箱假设的延伸^[16]。就研究框架的发展现状而言,大部分区域 MFA 的研究案例都是以输入输出表、材料流分析(SFA)、存量与流量模型(STAF)、区域动态模型等传统研究框架为基础开展的^[29-30],只有少量案例对研究框架做了简单改进^[16,31-32]。能否超越黑箱假设,建构有别于国家层面、基于区域以及城市特点的研究框架是区域 MFA 能否满足区域管理实际需求的关键问题^[16]。

(2) 区域物质流分析的指标体系:区域 MFA 的

指标体系沿用国家 MFA 物质分类和指标设计两个建构环节;物质分类方面,结合通量分析的直接与间接的物质流过程(投入、输出、储存)对物质进行分类,并将物质种类的聚焦整合于 SFA、LCA 等研究框架;指标设计方面,则从输入指标、输出指标、消耗指标、平衡指标、强度和效率指标、综合指数等指标类别来针对边界过程和综合特征进行评估^[7,33]。总体而言,当前区域 MFA 的指标体系建构在现有研究框架基础上已获得充分扩展,一些案例虽在此基础上有所改进^[16],但整体变动不大。考虑到城市 MFA 内部循环过程的复杂性和差异性,不同物质加和以及隐藏流系数的采用等问题上还存在着简单假设^[34],在物质细分和指标综合的手段之外,指标体系如何直接评估区域系统内部的物质流动细节仍然是区域 MFA 的严峻挑战。

(3) 区域物质流分析的数据集成:物质种类的多样性和物质流过程的复杂性,使得区域 MFA 的实证研究常常面临大量的数据获取工作^[8,35]。现有区域 MFA 的数据集成综合自上而下和自下而上^[9,36],定点和跟踪模型^[37-38]等多种数据获取方式,发展了 Excel、Gabi 和 Umberto 等数据分析平台^[7],并有望进一步拓展地质调查数据^[39]等新的数据来源,以及地理信息系统(GIS)^[14]等数据分析技术。2010 年 14 期第 5 卷的《Journal of Industrial Ecology》“Environmental Applications of Information & Communication Technology”专刊刊发多篇文章^[40-41],全面展望了信息化时代产业生态学的发展趋势。将互联网等高新技术对接于区域 MFA 的数据获取和信息集成过程是当前区域 MFA 的一个重要发展机遇。

(4) 区域物质流分析的管理应用:区域 MFA 为区域发展战略的制定提供了宝贵的定量依据^[42]。生态效率、循环经济、低碳社会等区域可持续发展理念融合于区域 MFA 指标体系的构建过程中,可以为政府决策制定直接提供参考^[43]。然而从根本上讲,指标层面的应用指向是一种宏观的评估,超越了区域物质流过程真实环节与区域发展的具体机制。国外学者联系区域 MFA 和土地利用变化、城市形态开展的研究分析^[44-46]尚未引起国内产业生态学和景观生态学界的太多关注^[47-48];另外一些整合 MFA 与人文社会科学的研究工作^[49-53]日益受到重视,而国内只有刘凌轩等^[54]建立的物质流管理时空轴模型对

这一思想有所反映。如何从指标层面的宏观评估走向机制性的考察研究,将研究成果内部落实到具体的物质、空间、过程和主体^[7-8],是区域 MFA 的应用目标。

2 区域物质流分析的景观取向

2.1 区域“系统”的理论分析

理论是方法的基础,概念是理论的核心。将区域和城市等复杂对象划分社会、经济、自然 3 个维度考查是开展宏观研究的重要策略,而这一策略下形成的“社会-经济-自然复合生态系统”则成为宏观生态学研究最为重要的综合性概念^[55]。长期以来,将自然生态系统与社会经济系统的类比与对比一直是产业生态学重要的理论基础,企业、产业部门、产业共生、产业生态系统从不同层面暗含生物体、种群、群落以及生态系统的隐喻(图 1),而循环经济理念则完全反映了社会经济系统对于自然生态系统的模仿^[56-59]。由此看来,“系统”是区域 MFA 的概念基础,基于“系统”概念构建研究框架并在区域 MFA 中贯彻自然生态系统研究范式也是理所当然。进而区域 MFA 理论和方法论的最终完善也将依赖于区域物质流过程复杂性的充分认识和“系统”概念的深入剖析。

然而事实上,不同于“生态系统”概念的初创时代^[60],对于如今“系统”概念的全面回顾必然涉及非线性与复杂性科学的最新成果,即使是对“生态系统”的充分述评也常常要回溯到生态哲学的视域范围。由于这一问题的复杂和艰巨性,本文不能也不必要对此展开全面阐述,但有必要概括一些框架式的要点作为开展理论分析的基础:(1)非线性与复杂性科学的研究,通常将对象划分为物质、生物、社会层面;(2)根据 Laszlo 的广义进化思想^[61],从物理学系统到化学系统、生态系统、再到文化系统是一个不同组织水平之间的突变跃迁过程;(3)虽然生态学通常被认为是一门反映整体论的学科,但其具体研究和哲学层面都普遍存在着一种“秘密的还原论”,其中生态的系统化,以及“生态系统”的滥用本身也是一种认识论和本体论的双重还原^[62-63];(4)根据生态学组织层次理论,生态系统在种群、群落层次之上,包含生物生存的物质环境;景观在生态系统之上,区域在景观之上^[64];(5)关于人类是否属于生态

系统的概念之中,一直存在争论^[65]。基于以上要点,仿照杜思对可持续发展的系统分析手法^[66],将

相关思想加以整合,并直观表现如图 1。

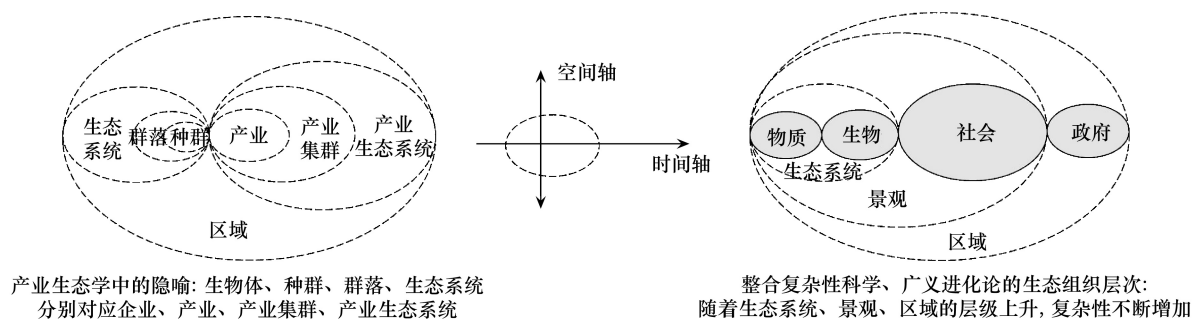


图 1 “产业生态学中的隐喻”与“生态组织层次”的图式

Fig.1 Schematic diagrams of metaphor in industrial ecology and ecological organization levels

由图 1 的图式对比可以清晰地看到,不同于现有 MFA 研究中将自然生态系统与社会经济系统看作是区域层次下两个相异却平行的子系统,整合复杂性科学、广义进化论的生态组织层次表明随着生态系统、景观到区域层次的逐级上升,复杂性不断递增。由此,反观当前区域 MFA 乃至产业生态学的类比逻辑和“系统”理论本身,实际上是一种跨越景观层次的系统化还原,和较低层次生态系统范式在较高的区域层次研究中的借用。这种还原与借用(或者说隐喻)由于绕开了人类的感官世界而将自然科学客观、量化和简洁的方法论特征赋予了 MFA,表现出极强的可操作性,但其在逻辑与理论基础上的缺陷却不容忽视^[59,67-68]。一方面,区域作为社会-经济-自然复合生态系统,复杂程度远超自然生态系统,区域系统化思维从生态系统层次直通区域层次虽然强化了物质层面的特征,但却忽视了人类对于物质景观的感知,以及由此进化而来的社会系统中独有的制度、文化、风俗、习惯等因素的作用,弱化了区域物质流过程的认知维度;另一方面,区域作为结构与功能耦合的动态系统,与自然生态系统中的生产者、消费者和分解者角色存在显著的结构差异,社会经济系统与自然生态系统的简单类比逻辑虽然保留了系统在功能层面的共性,但却忽视了物质流动驱动机制的差异,以及人为活动有意塑造的景观异质性的的重要性,弱化了区域物质流过程的空间维度。实际上,循环经济理念所强调的社会经济系统与自然生态系统相比的非闭环和流通途径过长等问题^[7]恰恰反映了两个系统在认知维度和空间维度的异构特征,而景观层次的认知和空间维度往往是社会经济

系统得以构建的心理与结构基础。因此,景观层次应当成为建构区域 MFA 研究框架的重要概念。

2.2 景观生态学原理的引入

但凡对生态学发展全局有所了解的人都无法否认,在生态系统生态学以外,发端于人文地理学,整合生态学与地理学概念基础的景观生态学已经发展为宏观生态学领域另一个极端重要的研究分支^[69]。景观生态学十分强调空间格局、生态学过程与尺度之间的相互作用,将人类活动与生态系统结构和功能相整合是景观生态学的学科特点和研究优势^[69-70]。景观生态学的“生态过程”概念,不仅包含地表空间的物质流动与循环,还集合了物种流、能量流、信息流等不同的自然、人文过程^[71-73]。由此可见,景观生态学原理不仅在概念上与区域 MFA 有所交叉,其引入还将显著地拓展区域 MFA 概念框架的认知和空间维度。

邱建国在阐述景观生态学对可持续性科学的潜在贡献时,对景观生态学的学科优势做过简明的阐述^[74]。综合这一阐述,如图 2 所示,也有理由相信将景观生态学原理引入区域 MFA 改变单纯以“系统”概念为基础的解构取向具有显见的理论优势:(1)将“生态系统”与“区域”之间的“景观”层次引入区域 MFA,强调了自然生态系统和社会经济系统的结构差异,有助于促进区域物质流系统等级层次的建构;(2)景观作为人-地交互的最小空间尺度,能够保全环境-经济-社会系统的耦合关系^[74],与多功能景观、景观经济学等景观生态学最新研究领域^[75]建立联系;(3)MFA 的流的概念与景观生态学的源、汇概念^[76]结合,将大量的物质存量和流量会以斑块、

廊道等景观形式存在或被感知并向三维空间扩展,使得原本无形的数量概念落实到了有形的空间实体,将“系统中的物质流”重构为“时空中的物质流”;(4)在景观尺度,物质流动过程的行为机制更容易考察,还可以开展针对性环境-社会-经济观测、调查和实验,深入的剖析物质流动与社会行为机制的相互关系,并开展主观与客观数据的集成分析;

(5)大量的物质流过程往往伴随景观动态,景观层次物质流分析,更有利于考察物质流过程中生态环境效应的时空分异;(6)由于区域 MFA 社会维度和空间维度的拓展,更有利于 MFA 与社会生态学研究相结合,并与生态足迹、可持续生计^[77]等其他区域评价与分析方法开展机制和模型预测方面的结合,为区域管理提供依据,促进区域可持续发展。

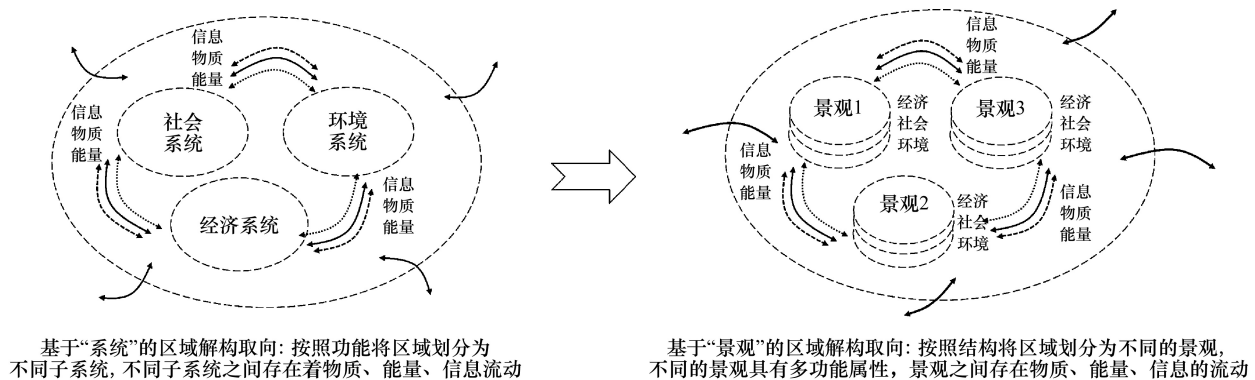


图2 “系统”与“景观”:区域解构的两种取向

Fig.2 “System” and “Landscape”: two orientations of regional decomposition

2.3 从系统到景观:区域物质流过程的空间结构

由于时间维度往往在社会系统中社会化、个性化,基于“系统”思想对区域内部物质流过程时间维度的解构,尽管可行但却并不完善。相对而言,区域内部物质贮存流动的空间结构则清晰容易辨识,可以结合景观生态学原理对其加以解构。纵览景观生态学的理论和概念体系,将空间解构的具体理论锁定在斑块-廊道-基质模式、斑块动态理论以及等级理论(进一步介绍参见相关文献)^[78-80]。

如图3所示,基于等级斑块动态范式(HPDP)思想^[80],整合斑块-廊道-基质模式、斑块动态理论与等级理论^[81],对区域 MFA 的空间维度进行了解构。其要点包涵6个方面:(1)区域被划分为区域、景观、斑块、单体等4个层级,各个层级有若干空间单元,根据特定的研究对象和目的,空间层级和空间单元还可以在此基础上加以修饰;(2)不同层级看似是离散的,但这只是逻辑概念上的离散,在真实世界中层级之间的界面有时是模糊的,并且通过频繁的物

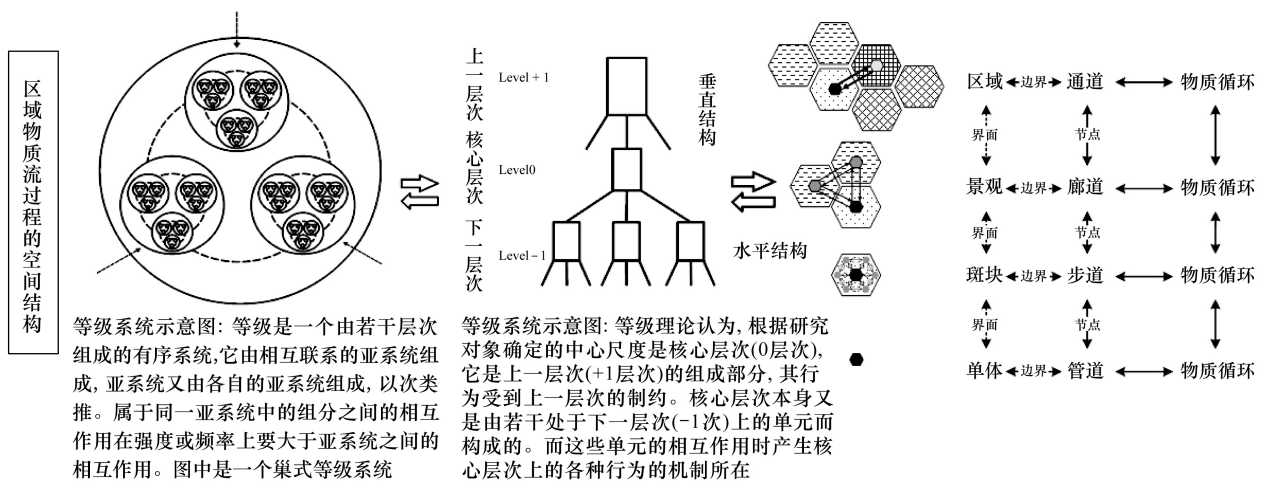


图3 区域物质流过程的空间结构^[81-82]

Fig.3 Spatial structure of regional material flow process

质、能量、信息流动联系在一起;(3)不同层级的物质流动速率存在差异,表现为时间维度的时滞、延迟等现象,层级跨越的能量消耗呈非线性变化;(4)层级内部空间单元间的物质流动通过该层级的通道(或是廊道、步道、管道)完成;不同层级的通道可以通过节点连成一体,形成功能网络^[82],物质流动又形成超循环结构^[83-84];(5)不同层级物质流动与贮存对应于相应层级的景观动态过程;(6)本文的解构实际上是二维地表空间的高维解构,空气流动、降水、地质过程等三维空间中不受二维地表网络结构约束的物质流过程,表现为层级间跳跃的物质流,使巢式等级系统复杂化为非巢式等级系统。

2.4 从系统与景观:区域物质流过程的认知图式

景观生态原理的引入不仅有助于明晰区域 MFA 的空间结构,还将通过建构认知维度强化物质流过程的机制性理解。前已述及,产业生态学原理中系统思想的借用(或者说是隐喻)由于绕开了人类的感官世界而将自然科学客观、量化和简洁的方法论特征赋予了社会经济系统的研究当中。然而不同于自然生态系统研究中观察者与被观察对象的分离关系,社会经济系统中观察者常常是被观察对象的组成部分,因此对于社会经济系统的观察结论常常与观察者在社会系统中的位置有关,使得系统复杂性不仅由系统内部多种多样的组份以及组份间复杂的

相互作用决定,而且受到观察者的理解、兴趣和能力的影晌^[85-86]。如果说在自然生态系统的研究过程当中“黑箱假设”是受制于研究者对于研究对象的认知局限性的话,那么在包含观察者自身的社会经济系统中的“黑箱假设”则反映了研究者对于自身认知与行为机制的漠视。如图 4 所示,反映自然科学与抽象思维取向的“系统”思想作为一种“闭着眼睛的思维”,将社会经济系统类比为与自然生态系统相似的客观考察对象,在剥离主观体验和形象思维的同时,也超越了研究者以外社会公众认知与改造物质环境的心理过程,因此永远无法揭示区域“黑箱”内部普通社会成员作用下物质流过程的真实机制。而如图 4 所示,在认识到“系统”思想的认知局限性的基础上,景观生态学取向对于区域物质流过程的考察,则更加强调生物体(人)之间通过视觉信息要素建构的认知网络在区域物质流过程中的支配作用。事实上,区域物质流分析的景观生态学取向,是将研究的关注点从物质流量的核算转向社会主体与物质流过程的交互作用,以呼应认知科学的生态学转向^[87],在建构景观之间物质流过程的同时,强化了景观内部人类与物质环境的耦合关系,为区域物质流过程的机制性分析和管理发展了一种更具整合性的认知图式。

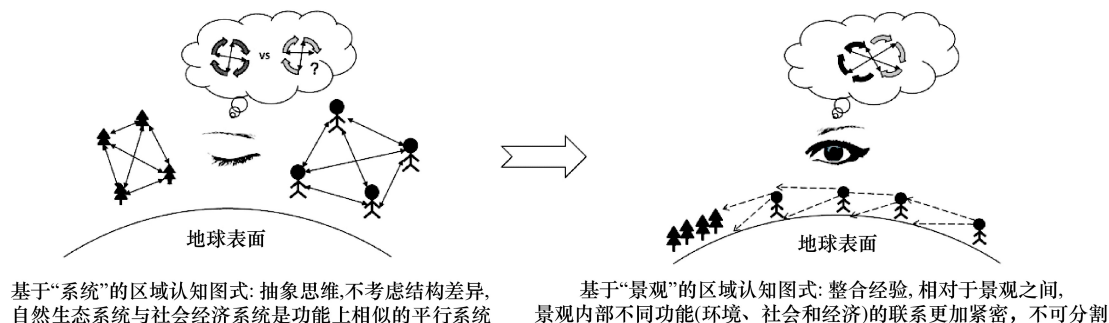


图 4 “系统”与“景观”:区域物质流过程的两种认知图式

Fig. 4 “System” and “Landscape”: two cognitive orientations of regional material flow process

3 讨论

通过以上的分析,简要说明了基于“景观”概念建构的区域 MFA 取向是一个与传统 MFA 截然不同的发展方向,然而受制于现有的研究条件,这一取向还远未成为一种趋势。结合当前区域 MFA 的最新研究案例,从以下几个方面对区域 MFA 的景观取向

展开进一步探讨。

3.1 多尺度 MFA 的综合研究框架

区域 MFA 旨在考察区域物质流动过程,而这一过程也是在区域各个主体行为作用下的空间过程^[7-8]。通过建构区域 MFA 的景观取向,可以将原本被视为“黑箱”的区域系统划分为不同的空间层级,将不同的空间层级划分为不同的空间单元,而不

同的空间单元又对应特定的行为主体。无论是城市代谢研究、生命周期评价抑或工业园区的 MFA 都可以进行空间化的解读,对应于单一级别单一单元的几类主体、多层次多单元的几类主体或单一级别多单元多主体的综合作用,也可根据所处的空间单元的具体情况对环境影响进行量化评估。事实上,针对工业园区^[36]、社区^[88-89]、建筑单体^[90-91]以及家庭^[92-93]等小尺度的代谢研究都已出现,但发展程度不一,其中尤以社区尺度的 MFA 研究案例最少,在我国受到的关注最为缺乏^[88];多层次综合研究在国内外都不多见,仅在面向时间维度的“社会代谢的多尺度综合评估(MSIASM)”^[94-96]框架下有所发展^[97-98],但针对小尺度 MFA 开展研究,还需根据层次特点对该研究框架进一步完善。就目前的趋势来看,为了更好地理解区域内部的物质流过程,整合 MSIASM 构建以景观(社区)为核心层次的多尺度综合研究将成为当前区域 MFA 的关键发展方向。

3.2 物质流动过程的时空集成研究

景观生态学的发展极大地得益于 3S 技术的完善和普及^[99-100]。地理信息系统在 MFA 乃至产业生态学领域已经有所应用,然而基于景观生态学原理建构的区域 MFA 研究取向,则通过认知与空间维度的完善强化了区域 MFA 基础理论的“信息化”程度。三维景观遥感技术^[101-102]之于物质存量考察,全球定位系统(GPS)、物联网技术(IOT)之于定点、跟踪模型^[37-38]都将发挥重要的作用。特别是全新的 Web2.0 时代,实时涌现的海量自发地理信息(VGI)将为开展区域 MFA 提供源源不断的信息资源。模型研究是整体论的^[103],囿于区域环境-经济系统的复杂性^[14,104],MFA 的建模研究发展滞后^[7,105],然而近几年以北京师范大学张妍、杨志峰为代表的学者整合生态网络分析与城市代谢开展了十分有益的建模研究^[106-107]。景观生态学理论引入区域 MFA,则将有助于进一步整合空间模型,对区域物质流过程开展全方位的模型考察。相信在不远的未来,伴随智慧城市(社区、建筑)以及感知中国的建设,海量的物质流数据以及其他信息资源将整合于三维可视的虚拟平台加以综合研究,进而成为开展区域和城市物质流过程分析、预测和管理的基础。

3.3 物质流动过程的空间行为管理

尽管当前的区域物质流过程在竖直维度上的复

杂性不断增加,但考虑到当前的能量条件,地表景观在可预见的未来都将是物质流动和贮存最为重要的空间载体。对地表景观物质流过程的管理和干预,将有效地促进物质流过程的良性循环和合理分布,从而最大限度地降低物质流过程的环境效应,增强物质流过程的社会经济效益。与传统区域 MFA 构建综合性宏观评估指标或是生命周期评价中强调生产者责任延长等管理应用取向不同,区域 MFA 的景观取向将为区域管理提供更加全面的决策依据:(1)社会经济的物质流过程的行为主体是人,其信息搜集和决策过程受制于认知环境和思维能力,其行为作用下的物质流动也有特定空间范围,区域 MFA 的景观取向建立了物质空间流动和主体行为空间的联系;(2)层级穿越对应正向物流与逆向物流过程,区域 MFA 空间层级的纵向联系(垂直结构)对应物质流管理的组织模式^[108],便于分割政府、企业、零售商、消费者、第三方等主体管理责任;区域 MFA 空间单元的横向联系(水平结构)对应物质流管理的运行模式,便于优选固定式、分散式、柔性管理、网络管理等具体运营形式;(3)结合人文社会科学开展研究,空间范围与行为群体明确,责任认定与问题症结清晰,对于决策制定的细节设计有重要价值;(4)基于景观的区域 MFA 研究,还将为城市规划与设计提供科学依据^[109-110]。

4 结语

生态环境问题的日益突出和可持续发展理念的深入,带来了生态学的繁荣与混乱。通过对物质对象的关注,区域 MFA 将为区域管理提供更加科学的决策依据。既有的产业生态学框架下,产业共生领域的相对清晰和 MFA 研究的严重交叉^[14],让我们轻易联想到基础生态学中种群生态学范式与生态系统生态学范式的鲜明对照^[80]。而将景观生态学原理引入区域 MFA,则是希望用全新的视角来审视区域物质流过程。与其说从“系统”取向转变为“景观”取向,是“生态系统生态学范式”和“景观生态学范式”在应用生态学层面的竞争,不如说是对区域 MFA 理论基础的进一步完善。然而学科的发展总是相互促进的,也不应避讳,产业生态学在功能与物质研究层面的优势正是当前以格局分析为主要研究范式的景观生态学所欠缺的,探讨区域 MFA 的景观取向的

另一个目的,在于融合景观生态学原理的同时,拓展当前景观生态学的过程研究。

References:

- [1] Brunner P H, Rechberger H. Practical handbook of material flow analysis. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2004, 9(5): 337-338.
- [2] Eurostat. Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001.
- [3] Tao Z P. Eco-rucksack and eco-footprint. Beijing: Economics Science Press, 2003.
- [4] Matthews E, Hutter C. The weight of nations. World Resources Inst., 2000.
- [5] WRI. Resource flows: The material basis of industrial economies. Washington, DC: World Resources Institute, 1997.
- [6] Fischer-Kowalski M. Society's Metabolism: The intellectual history of material flow analysis, part I, 1860—1970. Journal of Industrial Ecology, 1998, 2(01): 61-78.
- [7] Huang H P, Bi J, Zhang B, Li X M, Yang J, Shi L. A critical review of material flow analysis (MFA). Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 0368-0379.
- [8] Xia C Y. Review on Studies of Economy-wide Material Flow Analysis. Journal of Natural Resources, 2005, 20(3): 415-421.
- [9] Zhang L, Yuan Z W, Bi J. Substance flow analysis (SFA): a critical review. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6189-6198.
- [10] Bourman M, Heijungs R V V. Material flows and economic models: An analytical comparison of SFA, LCA and partial equilibrium models. Ecol Econ, 2000, 2(32): 195-216.
- [11] Haberl H, Fischer-Kowalski M, Krausmann F, Weisz H, Winiwarter V. Progress towards sustainability? What the conceptual framework of material and energy flow accounting (MEFA) can offer. Land Use Policy, 2004, 21(3): 199-213.
- [12] Chen W Q, Graedel T E. Anthropogenic Cycles of the Elements: A Critical Review. Environmental Science & Technology, 2012, 46(16): 8574-8586.
- [13] Fischer-Kowalski M. Society's metabolism: The intellectual history of material flow analysis, part II, 1970—1998. Journal of Industrial Ecology, 1999, 2(04): 107-136.
- [14] Shi H J, Liang S, Wang ZH, Liang S, Zhu J M, Chen W Q, Xu M, Shi L. Science, system and sustainability—a critical review of the ISIE2011 conference. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(21): 6641-6644.
- [15] Shi L. Industrial Ecology: A critical review. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(07): 3356-3364.
- [16] Chen B, Yang J X, Shi Y, Ouyang ZH Y. Framework and indicator system of urban flow analysis. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(22): 6289-6296.
- [17] Barles S. Urban metabolism of Paris and its region. Journal of Industrial Ecology, 2009, 13(6): 898-913.
- [18] Samuel N L R P F. Urban metabolism. Journal of Industrial Ecology, 2009, 3(13): 2384-2405.
- [19] Kennedy C, Cuddihy J, Engel-Yan J. The changing metabolism of cities. Journal of Industrial Ecology, 2008, 11(2): 43-59.
- [20] Sun L, Zhou ZH F. Research on metabolism in Chengyang District of Qingdao City based on material flow analysis. Research of Environmental Sciences, 2007, 20(6): 154-157.
- [21] Liang S, Zhang T. Urban metabolism in China achieving dematerialization and decarbonization in Suzhou. Journal of Industrial Ecology, 2011, 15(3): 420-434.
- [22] Cheng S K, Min Q W, Yan L Z. From static assessment to dynamic processing: resources flow and its contents and methods. Journal of Natural Resources, 2005, 20(03): 407-414.
- [23] Shen L, Liu X J. Discussion on theories and methods of resource flow. Resource Science, 2006, 28(03): 9-16.
- [24] Cheng S K, Shen L, Min Q W, Chen Y S, Feng Z M, Gu S ZH, Xie G D, Li L J, Huang H Q. New perspective of research in resource science—the study of the flow of natural resources. Resource Science, 2006, (2): 199-200.
- [25] Shi L. Transitions toward sustainability: ISIE 2009 conference review. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(8): 4426-4430.
- [26] Lin L, Liu M, Luo F X, Wang K, Zhang Q Z, Xiang W N. Comment on “The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design” by. Environmental Pollution, 2012, 167(0): 184-185.
- [27] Kennedy C, Pincetl S, Bunje P. Reply to “Comment on “The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design” by Kennedy et al. (2011)”. Environmental Pollution, 2012, 167(0): 186.
- [28] Lin L, Liu M, Luo F X, Wang K, Zhang Q Z, Xiang W N. Response to authors' reply regarding “The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design” by Kennedy et al. (2011). Environmental Pollution, 2012, 167(0): 187.
- [29] Bao Z, Zhang S, Chen Y, Liu S, Zhang Y, Wang H. A review of material flow analysis. Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference on: IEEE, 2010: 1-8.
- [30] Xing F F, Ouyang Z Y, Yang J X, Zheng H, Luo T W. Material flow analysis for economic-environmental system. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(2): 261-268.
- [31] Shi L, Lou Y. Methodology and procedure for urban-wide material flow analysis. Research of Environmental Sciences, 2008, 21(4): 196-200.
- [32] Xu Y J, Zhang T Z. Regional material flow analysis model based on three-dimensional physical input-output table. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2007, 47(3): 1347-1352.

- 356-360.
- [33] Bringezu S, Schutz H, Moll S. Rationale for and interpretation of economy-wide materials flow analysis and derived indicators. *Journal of Industrial Ecology*, 2008, 7(2): 43-64.
- [34] Peng J, Wang Y L, Wu J S. Progress and prospect of material flow analysis in the ecological assessment of regional sustainable development. *Resources Science*, 2006, 28(6): 189-195.
- [35] Liu J Z, Wang Q, Gu X W, Ding Y, Liu J X. Direct material input and dematerialization analysis of Chinese economy. *Resources Science*, 2005, 27(1): 46-51.
- [36] Shi Y, Yang J X, Liu J R, Chen B, Wang R S. The exploration of material metabolism based on MFA for Eco-Industrial Parks. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(1): 228-237.
- [37] Lu ZH W. The following-observing method for substance flow analysis. *Engineering Science*, 2006, 8(1): 18-25.
- [38] Lu ZH W, Yue Q. Two methods for substance flow analysis and their application. *Non-Ferrous Metals Recycling and Utilization*, 2006, 2(2): 27-28.
- [39] Sibley S F. Using US Geological Survey Data in Material Flow Analysis. *Journal of Industrial Ecology*, 2009, 13(5): 670-673.
- [40] Davis C, Nikolic I, Dijkema G P J. Industrial Ecology 2.0. *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 14(5): 707-726.
- [41] Masanet E, Matthews H S. Exploring environmental applications and benefits of information and communication technology. *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 14(5): 687-691.
- [42] Barles S. Society, energy and materials; the contribution of urban metabolism studies to sustainable urban development issues. *Journal of Environmental Planning and Management*, 2010, 53(4): 439-455.
- [43] Klein R. Adding it all up: The sense and non-sense of Bulk-MFA. *Journal of Industrial Ecology*, 2001, 2(4): 7-8.
- [44] Marull J, Pino J, Tello E, Cordobilla M J. Social metabolism, landscape change and land-use planning in the Barcelona Metropolitan Region. *Land use policy*, 2010, 27(2): 497-510.
- [45] Fischer-Kowalski M, Haberl H. Socioecological transitions and global change: Trajectories of social metabolism and land use. Edward Elgar Publishing, 2007.
- [46] Cusso X, Garrabou R, Tello E. Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860—1870: flows, energy balance and land use. *Ecological Economics*, 2006, 58(1): 49-65.
- [47] Wu Y Q, Yan M C. Analysis of the indicators between urban metabolism and land use change in Guangzhou. *Geographical Research*, 2011, 30(8): 1380-1390.
- [48] Huang X J, Yu S T, Ma Q F, Li L L, Zhai W X. Studies on material metabolism response of regional land use change. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(1): 1-8.
- [49] Sieferle R P. Cultural evolution and social metabolism. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 2011, 93(4): 315-324.
- [50] Schiller F. Linking material and energy flow analyses and social theory. *Ecological Economics*, 2009, 6(68): 1676-1686.
- [51] Binder C R. From material flow analysis to material flow management Part I: social sciences modeling approaches coupled to MFA. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(17): 1596-1604.
- [52] Binder C R. From material flow analysis to material flow management Part II: the role of structural agent analysis. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(17): 1605-1617.
- [53] Swyngedouw E. In the nature of cities: urban political ecology and the politics of urban metabolism. Routledge, 2006.
- [54] Liu L X, Bi J, Yuan Z W. A temporal and spatial model of material flow management and its application. *China Environmental Science*, 2009, 29(7): 780-784.
- [55] Ma S J, Wang R S. The social-economic-natural complex ecosystem. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, 4(1): 1-9.
- [56] Lifset R. A metaphor, a field, and a journal. *Journal of Industrial Ecology*, 1997, 1(1): 1-3.
- [57] Ehrenfeld J. Industrial ecology: a new field or only a metaphor?. *Journal of Cleaner Production*, 2004, 12(8): 825-831.
- [58] Jackson T. Sustainability and the 'Struggle for Existence': The Critical Role of Metaphor in Society's Metabolism. *Environmental Values*, 2003, 12(3): 289-316.
- [59] Wang ZH, Shi L, Sun D Z. Debates in research and practice of eco-industrial park in China: the utilization of metaphor. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(11): 6199-6206.
- [60] Tansley A G. The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology*, 1935, 16(3): 284-307.
- [61] Laszlo E. *Evolution: The grand synthesis*. New Science Library. Shambhala Publications, 1987.
- [62] Li J. Reductionism's contemporary influence in study on ecology. *Studies in Dialectics of Nature*, 2012(3): 7-14.
- [63] Schizas D, Stamou G. What ecosystems really are — hysicochemical or biological entities? *Ecological Modeling*, 2007, 200(1): 178-182.
- [64] Odum E P, Barrett G W. *Fundamentals of ecology*. Saunders Philadelphia, 1971.
- [65] Naveh Z. Ecosystem and Landscapes-A Critical Comparative Appraisal. *Journal of Landscape Ecology*, 2010, 1(3): 64-81.
- [66] Liu G L. *Theory and method of urban ecology planning*. Nanjing: Southeast University Press, 2002: 48.
- [67] Jensen P D, Basson L, Leach M. Reinterpreting industrial ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 2011, 15(5): 680-692.
- [68] Hess G. The Ecosystem: Model or Metaphor?. *Journal of Industrial Ecology*, 2010, 14(2): 270-285.
- [69] Wu J G. Landscape ecology-concepts and theories. *Chinese Journal of Ecology*, 2000, 19(1): 42-52.
- [70] Fu B J, Chen L D, Ma K M, Wang Y L etc. *Theory and application of landscape ecology (2nd edition)*: Science

- Press, 2011.
- [71] Li X Z, Xiao D N. Study on the urban landscape ecology. *Urban Environment & Urban Ecology*, 1995, 8(2): 26-30.
- [72] Guo J P, Zhang J P. Urban landscape and the focuses in urban landscape ecological research. *Journal of Chinese Landscape Architecture*, 2004, 20(2): 44-46.
- [73] Wu J G. The key research topics in landscape ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 2074-2076.
- [74] Wu J G. Landscape ecology, cross-disciplinarity, and sustainability science. *Landscape Ecology*, 2006, 21(1): 1-4.
- [75] Fu B J, Lv Y H, Chen L D, Su C H, Yao X L, Liu Y. The latest progress of landscape ecology in the world. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 2(2): 798-804.
- [76] Chen L D, Fu B J, Zhao W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1446-1449.
- [77] Roberts M G, Yang G A. The International Progress of Sustainable Development Research: A Comparison of Vulnerability Analysis and the Sustainable Livelihoods Approach. *Progress in Geography*, 2003, 22(1): 11-21.
- [78] Wu J G. Dissipative structure, hierarchy theory and ecosystems. *Chinese Journal of Applied ecology*, 1991, 2(2): 181-186.
- [79] Wu J G, Loucks O L. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology*, 1995: 439-466.
- [80] Wu J G. Paradigm shift in ecology: an overview. *Acta Ecologica Sinica*, 1996, 16(5): 449-459.
- [81] Wu J G. *Landscape Ecology—Pattern, Process, Scale and Hierarchy* (2nd edition), Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [82] Zhang X F, Wang Y L, Li Z H G. Discussion of landscape functions network structure and level. *Progress in Geography*, 2005, 24(1): 52-60.
- [83] Li J H. Hypercycle: an integrated principle of self-organization. *Journal of Systemic Dialectics*, 1995(01): 82-87.
- [84] Zeng G P. Self-organization theory of hypercycle. *Science Technology and Dialectics*, 1988(04): 63-68, 85.
- [85] Flood R L. Complexity: A definition by construction of a conceptual framework. *Systems research*, 1987, 4(3): 177-185.
- [86] Wu J. Hierarchy and scaling: extrapolating information along a scaling ladder. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 1999, 25(4): 367-380.
- [87] Ye H S. Embodied cognition: a new approach in cognitive psychology. *Advances in Psychological Science*, 2010, 18(05): 705-710.
- [88] Li X Q, Hua L Z. Landscape aesthetic assessment based on experiential paradigm assessment technology. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(10): 2965-2974.
- [89] Codoban N, Kennedy C A. Metabolism of neighborhoods. *Journal of urban planning and development*, 2008, 134(1): 21-31.
- [90] Cui S H, Zhang Y J, Zhou J Y, Liu Y. Research methods and outlook in the study of urban building metabolism. *Ecological Science*, 2011, 30(03): 359-367.
- [91] Zhao Y H, Hu D, Xu W X. The metabolism analysis of a building body in urban areas. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2007, 35(24): 7576-7578.
- [92] Yang D, Gao L, Xiao L, Wang R. Cross-boundary environmental effects of urban household metabolism based on an urban spatial conceptual framework: a comparative case of Xiamen. *Journal of Cleaner Production*, 2012(27): 1-10.
- [93] Liu J R, Wang R S, Wang Z, Yang J X. Metabolism and driving forces analysis of Chinese urban households. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2672-2676.
- [94] Giampietro M, Mayumi K. Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: introducing the approach. *Population & Environment*, 2000, 22(2): 109-153.
- [95] Giampietro M, Mayumi K. Multiple-scale integrated assessments of societal metabolism: integrating biophysical and economic representations across scales. *Population & Environment*, 2000, 22(2): 155-210.
- [96] Pastore G, Giampietro M, Mayumi K. Societal metabolism and multiple-scale integrated assessment: empirical validation and examples of application. *Population & Environment*, 2000, 22(2): 211-254.
- [97] D'Alisa G, Di Nola M F, Giampietro M. A multi-scale analysis of urban waste metabolism: density of waste disposed in Campania. *Journal of Cleaner Production*, 2012(35): 59-70.
- [98] Liu Y, Geng Y, Zhao H X. Societal metabolism for Chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM). *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(11): 3133-3142.
- [99] Liu H M, Yin A G, Su Z Y. 3S technologies and their application in ecological research. *Ecologic Science*, 2002, 21(1): 82-85.
- [100] Li S J, Zeng H. The utilities of remote sensing techniques in landscape study. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(3): 233-240.
- [101] Zhang P F, Hu Y M, Xiong Z P, Liu M. Variation pattern and its affecting factors of three-dimensional landscape in urban residential community of Shenyang. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22(2): 453-459.
- [102] Zhang X F, Wang Y L, Li Z G, Li W F, Ye M T. Preliminary theory of three-dimensional urban landscape ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 137(7): 2972-2982.
- [103] Jorgensen S E, Bendricchio G. *Fundamentals of ecological modelling*, 21: Elsevier Science, 2001.
- [104] Dijkema G P J, Basson L. Complexity and industrial ecology. *Journal of Industrial Ecology*, 2009, 13(2): 157-164.
- [105] Chen X Q, Qiao L J. Material flow analysis of Chinese economic-environmental System. *Journal of Natural Resources*, 2000, 15

(1):17-23.

- [106] Li S, Zhang Y, Yang Z F, Liu H, Zhang J. Ecological relationship analysis of the urban metabolic system of Beijing, China. *Environmental Pollution*, 2012, 170: 169-176.
- [107] Zhang Y, Yang Z F. A method of analyzing the interactions in an urban metabolism system. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(1):217-224.
- [108] Shi L, Zhou H L. The organizational scale, geographical scale and their policy implications for China's circular economy. *Geo-Information Science*, 2007, 9(1):61-64.
- [109] Kennedy C, Pincetl S, Bunje P. The study of urban metabolism and its applications to urban planning and design. *Environmental Pollution*, 2011, 159(8): 1965-1973.
- [110] Agudelo-Vera C M, Mels A R, Keesman K J, Rijnaarts H H M. Resource management as a key factor for sustainable urban planning. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(10): 2295-2303.

参考文献:

- [3] 陶在朴. 生态包袱与生态足迹:可持续发展的重量及面积观念. 北京:经济科学出版社, 2003.
- [7] 黄和平, 毕军, 张炳, 李祥妹, 杨洁, 石磊. 物质流分析研究述评. *生态学报*, 2007, 27(1): 0368-0379.
- [8] 夏传勇. 经济系统物质流分析研究述评. *自然资源学报*, 2005, 20(3): 415-421.
- [9] 张玲, 袁增伟, 毕军. 物质流分析(SFA)方法及其研究进展. *生态学报*, 2009, 29(11): 6189-6198.
- [14] 石海佳, 梁赛, 王震, 朱俊明, 陈伟强, 徐明, 石磊. 科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评. *生态学报*, 2011, 31(21): 6641-6644.
- [15] 石磊. 工业生态学的内涵与发展. *生态学报*, 2008, 28(07): 3356-3364.
- [16] 陈波, 杨建新, 石磊, 欧阳志云. 城市物质流分析框架及其指标体系构建. *生态学报*, 2010, 30(22): 6289-6296.
- [20] 孙磊, 周震峰. 基于 MFA 的青岛市城阳区物质代谢研究. *环境科学研究*, 2007, 20(6): 154-157.
- [22] 成升魁, 闵庆文, 闫丽珍. 从静态的断面分析到动态的过程评价——兼论资源流动的研究内容与方法. *自然资源学报*, 2005, 20(03): 407-414.
- [23] 沈镭, 刘晓洁. 资源流研究的理论与方法探析. *资源科学*, 2006, 28(03): 9-16.
- [24] 成升魁, 沈镭, 闵庆文, 陈远生, 封志明, 谷树忠, 谢高地, 李丽娟, 黄河清. 资源科学研究的新视角——自然资源流动过程的研究. *资源科学*, 2006, (2): 199-200.
- [25] 石磊. 可持续性转型——第五届工业生态学国际大会综述. *生态学报*, 2009, 29(8): 4426-4430.
- [30] 邢芳芳, 欧阳志云, 杨建新, 郑华, 罗婷文. 经济-环境系统的物质流分析. *生态学杂志*, 2007, 26(2): 261-268.
- [31] 石磊, 楼俞. 城市物质流分析框架及测算方法. *环境科学研究*, 2008, 21(4): 196-200.
- [32] 徐一剑, 张天柱. 基于三维物质投入产出表的区域物质流分析模型. *清华大学学报(自然科学版)*, 2007, 47(3): 356-360.
- [34] 彭建, 王仰麟, 吴健生. 区域可持续发展生态评估的物质流分析研究进展与展望. *资源科学*, 2006, 28(6): 189-195.
- [35] 刘敬智, 王青, 顾晓薇, 丁一, 刘建兴. 中国经济的直接物质投入与物质减量分析. *资源科学*, 2005, 27(1): 46-51.
- [36] 石磊, 杨建新, 刘晶茹, 陈波, 王如松. 基于 MFA 的生态工业园区物质代谢研究方法探析. *生态学报*, 2010, 30(1): 228-237.
- [37] 陆钟武. 物质流分析的跟踪观察法. *中国工程科学*, 2006, 8(1): 18-25.
- [38] 陆钟武, 岳强. 物质流分析的两种方法及应用. *资源再生*, 2006, 2(2):27-28.
- [47] 吴玉琴, 严茂超. 广州城市代谢与土地利用变化指标评价. *地理研究*, 2011, 30(8):1380-1390.
- [48] 黄贤金, 于术桐, 马其芳, 李璐璐, 翟文侠. 区域土地利用变化的物质代谢响应初步研究. *自然资源学报*, 2006, 21(1): 1-8.
- [54] 刘凌轩, 毕军, 袁增伟. 物质流管理的时空模型框架及应用研究. *中国环境科学*, 2009, 29(7):780-784.
- [55] 马世骏, 王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. *生态学报*, 1984, 4(1):1-9.
- [59] 王震, 石磊, 孙德智. 我国生态工业园认识和实践中的误区:隐喻的使用. *生态学报*, 2009, 29(11):6199-6206.
- [62] 李际. 还原论对生态学研究的当代影响. *自然辩证法研究*, 2012(3): 7-14.
- [66] 刘贵利. 城市生态规划理论与方法. 南京:东南大学出版社, 2002:48.
- [69] 邬建国. 景观生态学——概念与理论. *生态学杂志*, 2000, 19(1): 42-52.
- [70] 傅伯杰等. 景观生态学原理及应用(第二版)北京:科学出版社, 2011.
- [71] 李秀珍, 肖笃宁. 城市的景观生态学探讨. *城市环境与城市生态*, 1995, 8(2): 26-30.
- [72] 郭晋平, 张芸香. 城市景观及城市景观生态研究的重点. *中国园林*, 2004, 20(2):44-46.
- [73] 邬建国. 景观生态学中的十大研究论题. *生态学报*, 2004, 24(9): 2074-2076.
- [75] 傅伯杰, 吕一河, 陈利顶, 苏常红, 姚雪玲, 刘宇. 国际景观生态学研究新进展. *生态学报*, 2008, 2(2): 0798-0804.
- [76] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. *生态学报*, 2006, 26(5):1446-1449.
- [77] Roberts M G, 杨国安. 可持续发展研究方法国际进展——脆弱性分析方法与可持续生计方法比较. *地理科学进展*, 2003, 22(1):11-21.
- [78] 邬建国. 耗散结构、等级系统理论与生态系统. *应用生态学报*, 1991, 2(2): 181-186.

- [80] 邬建国. 生态学范式变迁综论. 生态学报, 1996, 16(5): 449-460.
- [81] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [82] 张小飞, 王仰麟, 李正国. 景观功能网络的等级与结构探讨. 地理科学进展, 2005, 24(1): 52-60.
- [83] 李建华. 超循环: 一个完整的自组织原理. 系统辩证学学报, 1995(01): 82-87.
- [84] 曾国屏. 超循环自组织理论. 科学、技术与辩证法, 1988(04): 63-68, 85.
- [87] 叶浩生. 具身认知: 认知心理学的新取向. 心理科学进展, 2010, 18(05): 705-710.
- [88] 李旋旗, 花利忠. 基于系统动力学的城市住区形态变迁对城市代谢效率的影响. 生态学报, 2012, 32(10): 2965-2974.
- [90] 崔胜辉, 张雅京, 周健, 林剑艺, 刘勇. 城市建筑代谢研究方法及其展望. 生态科学, 2011, 30(3): 359-367.
- [91] 赵艳华, 胡聃, 徐文修. 城市建筑单体代谢过程研究. 安徽农业科学, 2007, 35(24): 7576-7578.
- [93] 刘晶茹, 王如松, 王震, 杨建新. 中国城市家庭代谢及其影响因素分析. 生态学报, 2003, 23(12): 2672-2676.
- [98] 刘晔, 耿涌, 赵恒心. 基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析. 生态学报, 2011, 31(11): 3133-3142.
- [99] 刘惠明, 尹爱国, 苏志尧. 3S 技术及其在生态学研究中的应用. 生态科学, 2002, 21(1): 82-85.
- [100] 李书娟, 曾辉. 遥感技术在景观生态学研究中的应用. 遥感学报, 2002, 6(3): 233-240.
- [101] 张培峰, 胡远满, 熊在平, 刘森. 城市居住区三维景观变化规律与影响因素. 应用生态学报, 2011, 22(2): 453-459.
- [102] 张小飞, 王仰麟, 李正国, 李卫锋, 叶敏婷. 三维城市景观生态研究. 生态学报, 2007, 137(7): 2972-2982.
- [105] 陈效速, 乔立佳. 中国经济——环境系统的物质流分析. 自然资源学报, 2000, 15(1): 17-23.
- [107] 张妍, 杨志峰. 一种分析城市代谢系统互动关系的方法. 环境科学学报, 2009, 29(1): 217-224.
- [108] 石磊, 周海林. 循环经济的组织尺度与地理尺度及其政策含义. 地球信息科学, 2007, 9(1): 61-64.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.6 Mar., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Impacts of global warming on litter decomposition SONG Piao, ZHANG Naili, MA Keping, et al (1327)
- From system to landscape: the other orientation of regional material flow analysis ZHANG Xiaogang, ZENG Hui (1340)
- A multi-dimensional approach for wetland ecosystem service valuation SONG Yuqin, ZHANG Xiaolei (1352)
- Molecular mechanisms of the insect juvenile hormone JIN Minna, LIN Xinda (1361)
- Microbial deterioration in ancient cave and wall paintings LI Qiang, GE Qinya, PAN Xiaoxuan, et al (1371)
- Study on ecological safety evaluation and warning of wetlands in Tumen River watershed based on 3S technology
..... ZHU Weihong, MIAO Chengyu, ZHENG Xiaojun, et al (1379)
- A review of transboundary protected areas network establishment WANG Wei, TIAN Yu, CHANG Ming, et al (1391)

Autecology & Fundamentals

- Water consumption characteristics and water use efficiency of *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* and bamboo-willow
seedlings QIU Quan, PAN Xin, LI Jiyue, et al (1401)
- Three warming scenarios differentially affect the morphological plasticity of an invasive herb *Alternanthera philoxeroides*
..... CHU Yanmei, YANG Jian, LI Jingji, et al (1411)
- The influence of meteorological factors and soil physicochemical properties on karst processes in six land-use patterns in summer
and winter in a typical karst valley LIU Wen, ZHANG Qiang, JIA Yanan (1418)
- Effects of nanocarbon application on nitrogen absorption and utilization of flue-cured tobacco
..... LIANG Taibo, YIN Qisheng, ZHANG Yanling, et al (1429)
- The stand spatial model and pattern based on voronoi diagram LIU Shuai, WU Shuci, WANG Hong, et al (1436)
- Dynamic analysis of spatial structure in a close-to-nature *Phyllostachys edulis* stands
..... QIU Jianxi, TANG Mengping, SHEN Lifen, et al (1444)
- Phenotypic diversity in natural populations of *Sapindus mukorossi* based on fruit and seed traits
..... DIAO Songfeng, SHAO Wenhao, JIANG Jingmin, et al (1451)
- Development of compatible biomass models for trees from different stand origin ... FU Liyong, LEI Yuancai, SUN Wei, et al (1461)

Population, Community and Ecosystem

- The impact of understory vegetation structure on growth of *Polygonatum cyrtoneura* in extensively managed *Phyllostachys edulis*
plantation FAN Yanrong, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (1471)
- Short-term effects of CO₂ concentration elevation, warming and transgenic *Bt* rice cropping on soil labile organic carbon and
nitrogen, and nematode communities CHEN Jing, CHEN Fajun, LIU Manqiang, et al (1481)
- Temporospatial variations in net ecosystem productivity in Northeast China since 1961
..... LI Jie, ZHANG Yuandong, GU Fengxue, et al (1490)
- Assessment of the habitat suitability for waterfowls in the Panjin, Liaoning with GIS and remote sensing
..... DONG Zhangyu, LIU Dianwei, WANG Zongming, et al (1503)
- Distribution of soil macropores and their influence on saturated hydraulic conductivity in the Huoditang forest region of the
Qinling Mountains LU Bin, ZHANG Shengli, LI Kan, et al (1512)

- Influences of phosphorus concentration on interactions among *Microcystis aeruginosa*, *Daphnia magna* and *Ceratophyllum demersum* ...
 MA Jianmin, JIN Ping, GUO Meng, et al (1520)
- Allelopathic inhibition and mathematical models of *Chara vulgaris* extracts on two freshwater algae species
 HE Zongxiang, LIU Lu, LI Cheng, et al (1527)
- Flora analysis of riparian vegetation in Yongding-Haihe river system, China XIU Chen, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua (1535)
- Stream habitat assessment of Dong River, China, using *River Habitat Survey* method
 WANG Qiang, YUAN Xingzhong, LIU Hong, et al (1548)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Applying SWAT model to explore the impact of changes in land use and climate on the streamflow in a Watershed of Northern
 China GUO Juntong, ZHANG Zhiqiang, WANG Shengping, et al (1559)
- Climate response of tree growth along an altitudinal gradient in the Changbai Mountains, Northeast China
 CHEN Li, YIN Yunhe, ZHAO Dongsheng, et al (1568)
- The dispersion of airborne pollen and its relationship with major climatic parameters in Shijiazhuang
 LI Ying, LI Yuecong, LÜ Suqing, et al (1575)
- The change of soil carbon and nitrogen under different grazing gradients in Hulunber meadow steppe
 YAN Ruirui, XIN Xiaoping, WANG Xu, et al (1587)
- Spatial distribution and influencing factors of farmland soil organic matter and trace elements in the nansihu region
 WU Jie, LI Yuhuan, LI Zengbing, et al (1596)

Resource and Industrial Ecology

- Transnational land use and its potential environmental consequence LU Xiaoxuan (1606)

《生态学报》2014 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,280 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 薛建辉

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 34 卷 第 6 期 (2014 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 6 (March, 2014)

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@ cspg. net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@ cspg. 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 许 可 证	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