

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

中国生态学会
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 31 卷 第 19 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 琴, 等 (5860)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

李中才, 席旭东, 高琴, 李莉鸿. 基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流、 ρ 模式能流测度方法. 生态学报, 2011, 31(19): 5860-5864.

Li Z C, Xi X D, Gao Q, Li L H. The method of measuring energy flow φ and ρ in ecological networks by input-output flow analysis. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(19): 5860-5864.

基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流、 ρ 模式能流测度方法

李中才*, 席旭东, 高 琴, 李莉鸿

(山东工商学院, 烟台 264005)

摘要:提出了生态网络能量传递的两类路径,即 φ 和 ρ 模式能流传递,运用输入-输出流方法推导了 φ 和 ρ 模式下的能量流量计算公式。以 Pilette 和 Kincaid 提出的生态网络系统为例,计算了两种模式下系统能量通量的大小,评估了 φ 模式能流、 ρ 模式能流对生态网络能量传递的影响程度。研究表明:该生态系统每天能量流量为 31 g C,其中 90.23% 的能量流量是通过 φ 模式传递的,9.77% 的能量流量是通过 ρ 模式传递的;针对网络中每个节点,分析了 φ 和 ρ 模式对各自能量流量的影响程度。

关键词:输入-输出流; φ 模式能流; ρ 模式能流; 生态网络

The method of measuring energy flow φ and ρ in ecological networks by input-output flow analysis

LI Zhongcai*, XI Xudong, GAO Qin, LI Lihong

Shandong Institute of Business and Technology, Shandong, Yantai 264005, China

Abstract: The paper classifies all the groups of paths as first passage paths (set φ) and subsequent passage paths (set ρ), and explains the calculation method of the throughflow under the models φ and ρ by the input-output flow analysis. We chose the five-compartment model of ecological network proposed by Pilette and Kincaid as an example, and calculate TST_{φ} and TST_{ρ} , then quantitatively derive a correct evaluation influences of φ and ρ on ecological network throughflow. The results show that: the total system throughflow is 31 g C every day, and 90.23 percent of the total system throughflow corresponds to the model φ , 9.77 percent of the total system throughflow related to the model ρ . Finally, we respectively analyze how the models φ and ρ influence the throughflow of every node in the ecological network. The non-measurable, unobservable and indirect properties developed by input-output analysis can provide a deeper insight into the ecosystem, thus offering quantitative methods for exploring indirect effects and interconnectivity.

Key Words: input-output analysis; the model φ ; the model ρ ; ecological network

早在 1941—1942 年 R. L. Lindenman 和 G. E. Hutchinson 创立了有关生态系统的营养动力学理论^[1],提出食物循环概念,并对美国明尼苏达州的 Cedar Bog 湖泊进行了实证分析。一些研究者对生态系统的能量间接传递规律十分关注,对此进行了深入研究^[2-6]。针对稳态下的生态系统能量传递规律的探讨,主要包括输入-输出分析^[7-8]、流分析^[9-10]、围绕分析^[11]、Markovian^[12]模型分析。Mitsch^[13]定性阐述了以下观点:“生态系

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70973069);山东省自然科学基金项目(ZR2009HL011);教育部人文社科规划基金(10YJA630091, 10YJA630040)

收稿日期:2011-05-27; 修订日期:2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Lzc2004620@sohu.com

统的组成部分间相互连接、关联并形成网络,暗示了系统中的直接与间接作用都需要关注”。Mitsch 的观点为深入探讨生态系统能量传递机理提供了方法论,但是,Mitsch 没有给出生态系统中能流传递的路径结构关系、不同模式下的能流数量关系。

传统的分析方法多通过观察、测量手段,运用统计学方法对数据进行分析,来阐述生态系统的内部规律,带有一定的经验性、简化性,所得的研究结论与系统本质之间也存在一定的偏差,只是对生态系统的局部属性的认知,缺乏在系统层面的本质规律的探讨。本文研究目的包括:(1)辨识生态系统能量流传递路径的种类,即能量传递 φ 模式和 ρ 模式;(2)给出生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法;(3)评估 φ 模式能流 ρ 模式能流对生态网络能量传递的影响程度。

1 生态网络及动力学方程

1.1 生态网络结构

生态系统是一个具有很强的自组织、自发展能力的复杂网络系统^[14]。生态网络是模拟生物间相互作用关系的网络,描述生态系统中不同分室间物质、能量流动的结构,其基本单元分为分室和路径。分室是指生态系统中特定的功能单位,路径是分室间物质、能量传递的通道。Cohen^[15]、Martinez^[16]、Bersier^[17]、Margalef^[18]等人定义了生态网络连接度(C)的概念,其中,网络节点数目定义为 n ,节点间存在关联边的数目为 L ,则 $C = L/n^2$;Hannon、Patten、Margalef 采用可达矩阵来描述生态网络节点之间的关系^[19](图 1)。图中节点代表生态系统中的成员要素,节点之间的弧代表两个成员要素之间具有物质或能量的交换关系,若第 i 节点到第 j 节点有一条弧,则可达矩阵的第 i 列第 j 行的元素为 1,否则为 0。

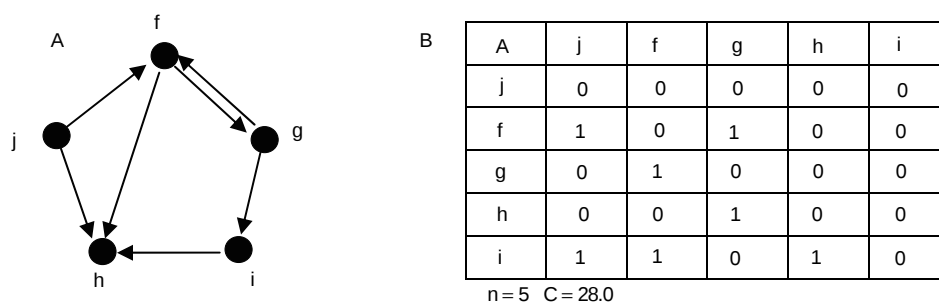


图 1 网络举例,两个网络同构体代表节点数为 $n=5$,联接度 $C=0.28$ 的网络

Fig. 1 Example network. Two isomorphic representations of an example network with $n=5$ and $C=0.28$

(A) 为网络的有向图, (B) 为网络的可达矩阵,表示了网络中节点的联接方式

从可达矩阵 A 可以看出由 5 个节点组成的生态网络直接路径(即能量通过 1 条弧在两个节点间传递,记直接路径长度 $m=1$)有 7 条。能量传递还可能通过间接路径(即能量通过多条弧在两个节点间传递,记间接路径长度 $m>1$)。例如:能量 z_j 通过弧 $j \rightarrow i$ 传至节点 i ,为直接路径传递;而能量 z_j 通过弧 $j \rightarrow f \rightarrow g \rightarrow h \rightarrow i$ 传至节点 i ,为间接路径传递。由此可以推出:

$$A + A^2 + \cdots + A^m + \cdots \rightarrow +\infty \quad (1)$$

1.2 生态网络能量传递动力学方程

矩阵 $F = [f_{ij}]$ 代表 $n \times n$ 维的能量流矩阵, f_{ij} 代表节点 j 输入节点 i 的能量流。节点 i 的流量 T_i 可以定义为:

$$T_i = \sum_n f_{ij} + z_i = \sum_n f_{ji} + y_i \quad (2)$$

式中, z_i 代表网络系统外环境输入节点 i 的能量, y_i 代表节点 i 的能量损失流。Matis 和 Patten^[20] 提出的生态网络能量动力学方程

$$dx/dt = F \times 1 + z = -F^T \times 1 - y \quad (3)$$

式中, x, z, y 是 $n \times 1$ 维的矩阵,分别代表某节点的能量存量、外界能量输入和能量消耗, 1 是 n 维单位列向量,

F^T 代表能量流矩阵 F 的转置矩阵。当生态系统能量传递达到稳定状态时,有 $dx/dt=0$,由此可知,能量流矩阵 F 的对角元素 $f_{ii}=-T_i$ 。如果将生态网络能量传递过程看作一个离散过程,其动力学方程:

$$x(t+\Delta t)=x(t)+\Delta x(t) \quad (4)$$

式中, $\Delta x=F\Delta t \times 1+z\Delta t$ 。

2 生态网络能量传递路径分类

生态网络能量传递路径可分为 2 种类型,即 φ 模式和 ρ 模式。图 2 描述了能量由起始节点(或组分) j 传递至节点 i 的路径种类, A_{ij} 代表一条由节点 j 至节点 i 的简单链, Ω_{ij} 代表一条由节点 j 至节点 i 的链,与 A_{ij} 不同的是在这条链的中间点存在能量循环现象。图 2 中 φ 模式下的能量传递路径 φ_{ij} 包括 4 种类型: A_{ij} 、 Ω_{ij} 、 $A_{ij} \cdot \Omega_{ij}$ 和 $\Omega_{ij} \cdot \Omega_{ij}$,点符号代表路径的串联关系:

$$\varphi_{ij}=A_{ij} \cup \Omega_{ij} \cup A_{ij} \cdot \Omega_{ij} \cup \Omega_{ij} \cdot \Omega_{ij} \quad (5)$$

在 φ 模式下,节点 j 的能量首次传至节点 i ,在路径的中间点可以存在能量循环的现象,但是,能量在节点 i 没有发生循环现象。

节点 i 存在 2 类循环路径:一类是节点 i 对节点 j 传递能量的反馈路径(k 代表反馈次数, $k=1,2,\dots$),记作 φ_{ii} :

$$\varphi_{ii}=[(A_{ij} \cup \Omega_{ij}) \cdot (A_{ji} \cup \Omega_{ji})]^k \quad (6)$$

另一种是节点 i 对节点 j 传递能量的循环路径,但是,这种循环路径没有经过初始节点 j ,即 Ω_{ii} 路径。因此, ρ_{ij} 可以表示为:

$$\rho_{ij}=(\Omega_{ii} \cup \varphi_{ii}) \cdot \varphi_{ij}=\{\Omega_{ii} \cup [(A_{ij} \cup \Omega_{ij}) \cdot (A_{ji} \cup \Omega_{ji})]^k\} \cdot \varphi_{ij} \quad (7)$$

至此,节点 j 至节点 i 的所有能量传递路径 ψ_{ij} 可以表示为:

$$\psi_{ij}=\varphi_{ij} \cup \rho_{ij} \quad (8)$$

3 输入-输出流分析方法

令 $g_{ij}=f_{ij}/T_j$, $g_{ii}=0$, $G=[g_{ij}]$,其中 G 是 $n \times n$ 维矩阵^[21]。把生态系统看作连续变化的系统,系统达到稳定状态时能量传递强度矩阵 N 可以表示为:

$$N=I+G+G^2+\dots+G^m+\dots=(I-G)^{-1} \quad (9)$$

用 T 代表节点能量流通量列向量, Z 代表外环境输入节点的能量流列向量,有下式:

$$T=(I+G+G^2+\dots+G^\infty)Z$$

$$T=NZ \quad (10)$$

矩阵 $N=[n_{ij}]$,元素 n_{ij} 是节点 j 通过路径 ψ_{ij} 传递至节点 i 的能量传递强度系数,因此,可得 $T_i=n_{ij}z_j$,由此

$$T_i=\sum_{j=1}^n T_{ij}=\sum_{j=1}^n n_{ij}z_j \quad (11)$$

根据 Kemeny^[22,23] 等研究,矩阵 N 的元素 n_{ij} 代表外环境输入节点 j 的单位能量流,在节点 i 出现的频次。考察对角元素 n_{ii} ,当 $n_{ii}=1$,说明节点 i 不存在循环流,即能量只由 φ 模式传递,而没有通过 ρ 模式传递;当 $n_{ii} \geq 1$,说明节点 i 存在 ρ 模式能量传递。用 TST_Ω 表示 ρ 模式下的网络总流通量, TST_φ 表示 φ 模式下的网络总流通量,有下式:

$$TST_\Omega=\sum_{i=1}^n \left[\frac{n_{ii}-1}{n_{ii}} \right] T_i \quad (12)$$

$$TST_\varphi=\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{n_{ii}} \right] T_i \quad (13)$$

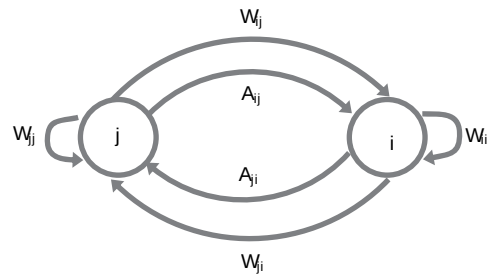


图 2 生态系统中两个组分间路径种类

Fig. 2 The main groups of paths between two compartments in ecological network

生态系统网络总流量可以表示为:

$$TST = TST_{\Omega} + TST_{\varphi} \quad (14)$$

为了进一步说明 φ 和 ρ 模式对生态网络能量传递的影响程度,引入了系数^[24] λ_{φ} 和 λ_{Ω} , 分别为:

$$\lambda_{\varphi} = \frac{TST_{\varphi}}{TST} \quad (15)$$

$$\lambda_{\Omega} = \frac{TST_{\Omega}}{TST} \quad (16)$$

4 实例分析

以 Pilette 和 Kincaid^[25] 在 1992 年提出的生态网络系统为例,具体阐述 φ 和 ρ 模式对生态网络能量传递的影响程度。表 1 给出了生态网络的流矩阵 $F(g \cdot C/d)$, 网络包含 5 个节点,外环境只对节点 1 有能量流输入,即 $z_1 = 10g \cdot C/d$ 。

表 1 P&K 生态网络的流矩阵 F

Table 1 Matrix F of P&K ecological network

	z	1	2	3	4	5	T
1	10	0	0	0	0	0	10
2	0	6	0	0	0	2	8
3	0	0	4	0	0	0	4
4	0	0	1	2	0	0	3
5	0	2	1	1	2	0	6
T^T	10	8	4	3	6		
Y^T	2	2	1	1	4		

由流矩阵 F 可得矩阵 G , 见表 2。

表 2 矩阵 G

Table 2 Matrix G

	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0.6000	0	0	0	0.3333
3	0	0.5000	0	0	0
4	0	0.1250	0.5000	0	0
5	0.2000	0.1250	0.2500	0.6667	0

由公式(9)可以求出矩阵 N , 见表 3。

表 3 矩阵 N

Table 3 Matrix N

	1	2	3	4	5
1	1	0	0	0	0
2	0.8002	1.2004	0.2338	0.2678	0.3997
3	0.4001	0.6002	1.11691	0.1339	0.1999
4	0.3001	0.4501	0.58769	1.1004	0.1499
5	0.6011	0.6017	0.70221	0.8042	1.2004

从表 3 可以看出, $n_{11} = 1$, 说明节点 1 的能量传递只存在 φ 模式, 而网络中其他节点不仅包括 φ 模式, 而且包括 ρ 模式。由公式(12) — (14) 可得 $TST_{\Omega} = 3.0296g \cdot C/d$, $TST_{\varphi} = 27.9704g \cdot C/d$, $TST = 31g \cdot C/d$ 。由公式(15)、(16) 计算系数 λ_{φ} 和 λ_{Ω} , 得 $\lambda_{\varphi} = 0.902271$, $\lambda_{\Omega} = 0.097729$ 。生态系统能量流通量的 90.23% 是通过 φ 模式传递的, 能量流通量的 9.77% 是通过 ρ 模式传递的, 也可以针对每个节点进行 φ 和 ρ 模式影响程度分析。

φ 模式下节点 1 的通量 $T_{\varphi}^1 = \frac{n_{11}}{n_{11}} \cdot z_1 + \frac{n_{12}}{n_{22}} \cdot z_2 + \frac{n_{13}}{n_{33}} \cdot z_3 + \frac{n_{14}}{n_{44}} \cdot z_4 + \frac{n_{15}}{n_{55}} \cdot z_5 = 10$ 。同理, 通量 $T_{\varphi}^2 = 6.6667, T_{\varphi}^3 = 3.5820, T_{\varphi}^4 = 2.7268, T_{\varphi}^5 = 5.0075$ 。而 $T_{\rho}^1 = 0, T_{\rho}^2 = 1.334, T_{\rho}^3 = 0.4180, T_{\rho}^4 = 0.2733, T_{\rho}^5 = 0.9925$, 单位同上。

5 结论与讨论

生态系统中组分之间的能量直接传递关系易于观察, 并且“金字塔”式的能量关系符合热力学定律, 而生态系统中组分之间的间接作用无法通过观察、仪器测量手段来发现, 必须通过严密的数学推导才能够揭示出来。以 Pilette 和 Kincaid 提出的生态网络系统为例, 通过分析, 得到如下结论: (1) 将生态网络系统能量传递路径分为 2 种类型, 即 φ 模式和 ρ 模式。节点 j 至节点 i 的所有能量传递路径 ψ_{ij} 可以表示为 $\psi_{ij} = \varphi_{ij} \cup \rho_{ij}$; (2) 推导出生态网络 φ 模式能流、 ρ 模式能流测度方法; (3) 计算了 φ 模式能流、 ρ 模式能流对生态网络能量传递的影响程度, 分别为 90.23% 和 9.77%。

运用输入-输出流分析方法对生态系统进行研究时, 还存在一些需要进一步解决的问题: 一是, 确定生态系统的边界问题。选取不同的系统边界, 对分析结果可能产生很大的影响。目前, 缺少系统边界划分的统一规则, 多数研究人员根据需要或经验来划分系统边界; 二是, 收集和测算现实生态系统中各种物质流流量, 需要大量数据, 是分析生态网络的一个难点; 三是, 输入-输出流方法所涉及的系统“稳态”是一种理想状态, 现实中的生态系统的稳定状态是“稳态”的一种近似。

生态系统是一个复杂系统, 运用必要的数学分析方法如输入-输出流分析法对其能量、物质传递规律进行深入、系统研究, 有益于揭示本质规律。运用这一研究手段, 已经揭示出许多生态系统的内在的、微观的系统特性。虽然, 输入-输出流方法还存在一些需要深入研究的问题, 但是, 它已经成为研究者所关注的一种方法, 并且在实践中也得到了成功应用。

References:

- [1] Lindeman R L. The trophic-dynamic aspect of ecology. *Ecology*, 1942, 23(4): 391-418.
- [2] Ulanowicz R E. Identifying the structure of cycling in ecosystems. *Mathematical Biosciences*, 1983, 65(2): 219-237.
- [3] Levine S H. Several measures of trophic structure applicable to complex food webs. *Journal of Theoretical Biology*, 1989, 83(2): 195-207.
- [4] Levine S H. A dynamic formulation for input-output modelling of exploited ecosystems. *Ecological Modelling*, 1988, 44(1/2): 143-151.
- [5] Higashi M, Patten B C. Further aspects of the analysis of indirect effects in ecosystems. *Ecological Modelling*, 1986, 31(1/4): 69-77.
- [6] Patten B C. Network integration of ecological extremal principles: exergy, emergy, power, ascendancy, and indirect effects. *Ecological Modelling*, 1995, 79(1/3): 75-84.
- [7] Leontief W W. *Input-Output Economics*. New York: Oxford University Press, 1966.
- [8] Levine S H. A dynamic formulation for input-output modelling of exploited ecosystems. *Ecological Modelling*, 1988, 44(1/2): 143-151.
- [9] Hannon B. The structure of ecosystems. *Journal of Theoretical Biology*, 1973, 41(3): 535-546.
- [10] Luke G, Latham II. Network flow analysis algorithms. *Ecological Modelling*, 2006, 192(3/4): 1904-1912.
- [11] Hippe P W. Environ analysis of linear compartmental systems; the dynamic, time-invariant case. *Ecological Modelling*, 1983, 19(1): 1-26.
- [12] Barber M A. A Markovian model for ecosystem flow analysis. *Ecological Modelling*, 1978, 5(3): 193-206.
- [13] Mitsch W J, Jørgensen S E. *Ecological Engineering and Ecosystem Restoration*. New York: Wiley, 2004: 411-411.
- [14] Jørgensen S E, Fath B D. Examination of ecological networks. *Ecological Modelling*, 2006, 196(3/4): 283-288.
- [15] Cohen J E, Briand F, Newman C M. *Community Food Webs: Data and Theory*. New York: Springer, 1990.
- [16] Martinez N D. Scale-dependent constraints on food-web structure. *American Naturalist*, 1994, 144(6): 935-953.
- [17] Bersier L F, Dixon P, Sugihara G. Scale-invariant or scale-dependent behavior of the link density property in food webs: a matter of sampling effort? *American Naturalist*, 1999, 153(6): 676-682.
- [18] Margalef R. On certain unifying principles in ecology. *American Naturalist*, 1963, 97(897): 357-374.
- [19] Fath B D, Scharler U M, Ulanowicz R E, Hannon R. Ecological network analysis: network construction. *Ecological Modelling*, 2007, 208(1): 49-55.
- [20] Matis J H, Patten B C. Environ analysis of linear compartmental systems; the static, time invariant case. *Ecological Modelling*, 1981, 48: 527-565.
- [21] Gattie D K, Schramski J R, Bata S A. Analysis of microdynamic environ flows in an ecological network. *Ecological Modelling*, 2006, 28(3): 187-204.
- [22] Patten B C, Higashi M. First passage flows in ecological networks; measurement by input-output flow analysis. *Ecological Modelling*, 1995, 79(1/3): 67-74.
- [23] Borrett S R, Fath B D, Patten B C. Functional integration of ecological networks through pathway proliferation. *Journal of Theoretical Biology*, 2007, 245(1): 98-111.
- [24] Allesina S, Ulanowicz R E. Cycling in ecological networks: Finn's index revisited. *Computational Biology and Chemistry*, 2004, 28(3): 227-233.
- [25] Pilette R, Kincaid D T. First flow-thru analysis in ecosystem studies. *Ecological Modelling*, 1992, 64(1): 1-10.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongnan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platyclus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow ϕ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

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	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
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 70.00 元