

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 24 期
Vol.30 No.24
2010



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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 30 卷 第 24 期 2010 年 12 月 (半月刊)

目 次

三江平原残存湿地斑块特征及其对物种多样性的影响	施建敏, 马克明, 赵景柱, 等 (6683)
叶片碳同位素对城市大气污染的指示作用	赵德华, 安树青 (6691)
土地利用对崇明岛围垦区土壤有机碳库和土壤呼吸的影响	张容娟, 布乃顺, 崔 军, 等 (6698)
缓/控释复合肥料对土壤氮素库的调控作用	董 燕, 王正银 (6707)
北京海淀公园绿地二氧化碳通量	李 霞, 孙 睿, 李 远, 等 (6715)
三峡库区消落带生态环境脆弱性评价	周永娟, 仇江啸, 王 姣, 等 (6726)
应用碳、氮稳定同位素研究稻田多个物种共存的食物网结构和营养级关系	张 丹, 闵庆文, 成升魁, 等 (6734)
基于弹性系数的江苏省能源生态足迹影响因素分析	杨足膺, 赵 媛, 付伍明 (6741)
中国土地利用多功能性动态的区域分析	甄 霖, 魏云洁, 谢高地, 等 (6749)
遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响	王云贺, 韩忠明, 韩 梅, 等 (6762)
臭氧胁迫对冬小麦光响应能力及 PS II 光能吸收与利用的影响	郑有飞, 赵 泽, 吴荣军, 等 (6771)
地表覆草和覆膜对西北旱地土壤有机碳氮和生物活性的影响	谢驾阳, 王朝辉, 李生秀 (6781)
喀斯特峰丛洼地旱季土壤水分的空间变化及主要影响因子	彭晚霞, 宋同清, 曾馥平, 等 (6787)
极干旱区深埋潜水蒸发量的测定	李红寿, 汪万福, 张国彬, 等 (6798)
灌木林土壤古菌群落结构对地表野火的快速响应	徐赢华, 张 涛, 李 智, 等 (6804)
稻田免耕和稻草还田对土壤腐殖质和微生物活性的影响	区惠平, 何明菊, 黄 景, 等 (6812)
造纸废水灌溉对黄河三角洲盐碱地土壤酶活性的影响	董丽洁, 陆兆华, 贾 琼, 等 (6821)
神农宫扁角菌蚊幼虫种群分布及其与环境因子的相关性	顾永征, 李学珍, 牛长缨 (6828)
三亚珊瑚礁水域纤毛虫种类组成和数量分布及与环境因子的关系	谭烨辉, 黄良民, 黄小平, 等 (6835)
淞江鲈在中国地理分布的历史变迁及其原因	王金秋, 成 功 (6845)
黄海中南部小黄鱼生物学特征的变化	张国政, 李显森, 金显仕, 等 (6854)
甲基溴消毒对番茄温室土壤食物网的抑制	陈云峰, 曹志平 (6862)
离子树脂法测定森林穿透雨氮素湿沉降通量——以千烟洲人工针叶林为例	盛文萍, 于贵瑞, 方华军, 等 (6872)
乡土植物芦苇对外来入侵植物加拿大一枝黄花的抑制作用	李愈哲, 尹 昕, 魏 维, 等 (6881)
遂渝铁路边坡草本植物多样性季节动态和空间分布特征	王 倩, 艾应伟, 裴 娟, 等 (6892)
古尔班通古特沙漠原生梭梭树干液流及耗水量	孙鹏飞, 周宏飞, 李 彦, 等 (6901)
碟果虫实种子萌发对策及生态适应性	刘有军, 刘世增, 纪永福, 等 (6910)
原始兴安落叶松林生长季净生态系统 CO ₂ 交换及其光响应特征	周丽艳, 贾丙瑞, 曾 伟, 等 (6919)
五种红树植物通气组织对人工非潮汐生境的响应	伍卡兰, 彭逸生, 郑康振, 等 (6927)
亚高寒草甸不同生境植物群落物种多度分布格局的拟合	刘梦雪, 刘佳佳, 杜晓光, 等 (6935)
内蒙古荒漠草原地表反照率变化特征	张 果, 周广胜, 阳伏林 (6943)
中国沙棘克隆生长对灌水强度的响应	李甜江, 李根前, 徐德兵, 等 (6952)
增温与放牧对矮蒿草甸 4 种植物气孔密度和气孔长度的影响	张立荣, 牛海山, 汪诗平, 等 (6961)
基于 ORYZA2000 模型的北京地区早稻适宜播种期分析	薛昌颖, 杨晓光, 陈怀亮, 等 (6970)
专论与综述	
区域生态安全格局研究进展	刘 洋, 蒙古军, 朱利凯 (6980)
植物功能性状与湿地生态系统土壤碳汇功能	王 平, 盛连喜, 燕 红, 等 (6990)
农田水氮关系及其协同管理	王小彬, 代 快, 赵全胜, 等 (7001)
虫害诱导挥发物的生态调控功能	王国昌, 孙晓玲, 董文霞, 等 (7016)
土壤微生物资源管理、应用技术与学科展望	林先贵, 陈瑞蕊, 胡君利 (7029)
问题讨论	
从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势	黄茹莉, 徐中民 (7038)
基于植物多样性特征的武汉市城市湖泊湿地植被分类保护和恢复	郑忠明, 宋广莹, 周志翔, 等 (7045)
濒危兰科植物再引入技术及其应用	陈宝玲, 宋希强, 余文刚, 等 (7055)
研究简报	
实验条件下华北落叶松和白杆苗期生长策略的差异比较	张芸香, 李海波, 郭晋平 (7064)
基于源-库互反馈的温室青椒坐果时空动态模拟	马韞韬, 朱晋宇, 胡包钢, 等 (7072)
西双版纳小磨公路及其周边道路对蛇类活动的影响	孙 戈, 张 立 (7079)
温度变化对藻类光合电子传递与光合放氧关系的影响	张 曼, 曾 波, 张 怡, 等 (7087)
黄土区六种植物凋落物与不同形态氮素对土壤微生物量碳氮含量的影响	王春阳, 周建斌, 董燕婕, 等 (7092)
食细菌线虫 <i>Caenorhabditis elegans</i> 的取食偏好性	肖海峰, 焦加国, 胡 锋, 等 (7101)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 424 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 48 * 2010-12	

从演化的角度评价北京市经济系统可持续发展趋势

黄茹莉*, 徐中民

(中国科学院内陆河流域生态水文重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要:评价系统可持续性是可持久相关学科讨论的热点问题。从演化的角度评价系统可持续发展趋势是可持久评价的新视角。以热力学、信息论和网络分析等为基础解析系统结构,发现系统演化的能力由两个因素组成:上升性和恢复力。上升性或恢复力过高的系统都不可持久,只有当上升性和恢复力达到一定的平衡状态,系统才能实现可持续发展。利用该演化模型,评价了北京市经济系统 1985—2005 年可持续发展趋势。结果表明:1985—1987, 1993—2002 年间系统向最优可持续点靠近;1988—1992, 2003—2005 年间系统远离最优可持续点。通过分析北京市 2005 年一阶路径对上升性的边际贡献,得出使系统更可持续发展的途径是强化对上升性边际贡献大的路径。

关键词:可持续发展; 系统演化; 上升性; 恢复力

Quantifying the trend of economic sustainability: take Beijing as a case study

HUANG Jiali*, XU Zhongmin

Key Laboratory of Ecohydrology of Inland River Basin, CAS, Lanzhou Gansu 730000, China

Abstract: Quantitative measure of sustainability is a hot topic in the fields of sustainable development, economics, ecology and relative disciplines. An evolution model put forward by Ulanowicz is introduced here to evaluate the trend of economic sustainability. The model, which is based on thermodynamic, network analysis, information theory and researches on real-life ecosystems, could measure sustainability of any complex, matter/energy flow system. It says that the capacity for a system to undergo evolutionary change or self-organization consists of two factors: 1) ascendancy: the network's capacity to perform in a sufficiently organized and efficient manner as to maintain its integrity over time; and 2) resilience: its reserve of flexible fall-back positions and diversity of actions that can be used to meet the exigencies of novel disturbances and the novelty needed for on-going development and evolution. These two factors are complementary with respect to diversity and connectivity in the network. A system's resilience is enhanced by more diversity and connectivity, while ascendancy is increased by less diversity and connectivity. In other words, too much ascendancy (resilience) means too little resilience (ascendancy). The key point is that system's sustainability is decided by the balance between ascendancy and resilience. A System with too little ascendancy has neither the extent of activity nor the internal organization needed to survive. Conversely, systems with too much ascendancy appear brittle in the face of novel disturbances. In one word, system's sustainability is depending on the tradeoff between ascendancy and resilience.

In this paper, the trend of economic sustainability in Beijing from 1985 to 2005 was evaluated. Firstly, based on I-O table cash flows among six fundamental sectors of Beijing economy were outlined: agriculture; industry; construction; transportation, post and telecommunication; commerce and catering trade; other services. Secondly, the value of ascendancy/development capacity (denoted as a), which is a relative measure of the organized power flowing within the system, was calculated. When the system is at its optimal sustainability a works out to be a_{opt} . The further the a is from a_{opt} , the less sustainable the system is. In this paper we assumed that a_{opt} is 0.37. The results showed that during 1985—1987 where a was arising from 10.94% to 11.61% system developed toward configuration of more sustainable. While

基金项目:中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-04-04);中国科学院西部行动计划项目(二期)(KZCX2-XB2-09)

收稿日期:2009-12-30; **修订日期:**2010-03-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jialih@lzb.ac.cn

during 1988 — 1992 where a was dropping from 11.61% to 9.66% system developed toward configuration of less sustainable. During 1993 — 2002 system developed toward the optimal sustainability. While during 2003 — 2005 system kept away from the optimal state again. Third, the way to vector the system towards configuration of more sustainability was analyzed. During 1985 — 2005, each a is less than 0.37, which means that the system inhabits much more resilience than ascendancy. Sensitivity analysis on ascendancy with respect to each individual component process quantified the value of that link “at the margin” in 2005. The analysis revealed that to strengthen paths contributing more to ascendancy is an effective way to increase system’s sustainability. For example, when artificially doubled the flow of construction’s final demand the value of a was increasing from 9.66% to 10.42%.

Key Words: sustainable development; system evolution; ascendancy; resilience

目前评价可持续性的方法主要有:①建立可持续发展指标体系,并对其进行定量评价和计算的方法,但指标的选取和指标权重的确定通常具有很强的主观性;②生态足迹方法,该方法通过将生态足迹与生态承载力进行比较来判断不同尺度上的发展是否可持续,简单易行,存在的问题是忽略了区域差异,对社会资源的考虑不充分等^[1-2];③能值分析,它同时考虑了能量在数量和品质上的差异,改进了传统的能量分析方法,但未能从根本上解决方法体系中核心的能值转化率的确定问题,其转化率的确定受人为影响较大,没有考虑到环境的影响因素^[1]。在此,从一个全新的视角——系统演化这个角度出发评价经济系统可持续发展趋势,提供了可持续评价的新思路。

美国生态学家 Ulanowicz 以热力学、信息论、网络分析等为基础,提出了上升性理论,用一系列指标如发展能力,上升性,恢复力等定量描述了系统整体的行为。在此基础上提出了系统演化模型,指出系统经历演化的能力(或系统自组织的能力)由两个方面组成:上升性和恢复力^[3-4]。其中,上升性代表系统的有序、连贯和有效部分,表征了系统的效率;而恢复力代表系统的无序、不连贯和无效部分,表征了系统发生变化的潜力即系统的抗干扰能力^[3]。对系统演化而言上升性和恢复力是对立的作用力,上升性使系统向更加有效率的方向发展,而恢复力使系统向更加无效率的方向发展。但从另一方面来讲,二者又是协同的,任何一个因素过小都会使系统不可持续,缺乏上升性(效率过低)将使系统缺乏生存所需的活力或内部组织;而恢复力过小(效率过高)的系统在面对微小的异常扰动时都易于崩溃^[3]。只有当上升性和恢复力达到一定的平衡状态,即二者的比值在一定的范围内时,系统才是可持续的。这也正是从系统演化角度评价系统可持续发展趋势的核心所在。

下面首先明确上升性等指标的含义,然后讨论上升性和恢复力与可持续性的关系,再以北京市为例评价北京市经济系统 1985—2005 年可持续发展趋势,并提出提高系统可持续性的途径。从系统演化的角度评价经济系统可持续发展趋势,对理解整个系统的发展,通过调整系统结构使之更可持续方面具有重要意义。

1 量化网络流系统的发展能力、上升性和恢复力

1.1 量化系统的平均不确定性 H 、平均相互约束 X 和“条件熵” Ψ

假设事件 i 发生的概率为 p_i ,发生的不确定性为 S_i ,则 $S_i = -k \log(p_i)$,它表征事件发生变化的潜力。事件发生的概率越大,发生变化的潜力越小。整个系统的平均不确定性为 H :

$$H = \sum_i h_i = \sum_i p_i S_i = -k \sum_i p_i \log(p_i) \quad (1)$$

当 $p_i \approx 1$ 时,事件几乎肯定会发生,但它几乎不可能发生变化($S_i \approx 0$),此时 $h_i \approx 0$;当 $p_i \approx 0$,事件发生变化的潜力很大($S_i \approx 1$),但在系统动力学中它几乎不会以作用者的身份出现($p_i \approx 0$),此时也有 $h_i \approx 0$ 。只有当 p_i 取中间值时,事件才能频繁发生,同时又有足够的潜力变化。从这个意义上讲, h_i 表征事件 i 在系统变化或发展过程中起重要作用的能力, H 则表示整个系统经历变化的总能力^[3]。

信息指不确定性的减少量,它是通过对过去相似或相关事件的观察得到^[4]。当事件 i 发生的不确定性已

知,事件 j 发生时事件 i 发生的不确定性也已知,就可以求出由 j 引起的 i 不确定性的降低,见式(2),此即事件 i 从事件 j 中得到的信息,也即事件 j 对事件 i 的约束:

$$X(i;j) = [-k\log p(i)] - [-k\log p(i|j)] = k\log\left(\frac{p(i,j)}{p(j)p(i)}\right) = [-k\log p(j)] - [-k\log(j|i)] = X(j;i) \quad (2)$$

由式(2)可见,事件 i 对事件 j 的约束等于事件 j 对事件 i 的约束,即式(2)量化了两个事件之间的相互约束。将式(2)的每一项乘以相应的联合概率就可以得到整个系统的平均相互约束 X :

$$X = k \sum_i \sum_j p(i,j) \log\left(\frac{p(i,j)}{p(j)p(i)}\right) \quad (3)$$

记: $p_{ij} = p(i,j)$; $p_{.j} = \sum_i p_{ij} = p(j)$; $p_{.i} = \sum_j p_{ij} = p(i)$, 将它们代入式(3)可得式(4):

$$X = k \sum_{i,j} p_{ij} \log\left(\frac{p_{ij}}{p_{.i} p_{.j}}\right) \quad (4)$$

根据对数函数的凸性可得 $H \geq X \geq 0$ ^[3,4], 由此可见系统的不确定性是系统约束的上限。将它们之间的差值即系统残余的不确定性记为 Ψ , 称之为“条件熵”:

$$\Psi = H - X = -k \sum_{i,j} p_{ij} \log\left(\frac{p_{ij}^2}{p_{.i} p_{.j}}\right) \quad (5)$$

将式(5)变形可得式(6):

$$H = X + \Psi \quad (6)$$

由式(6)可见,系统的进化或(自组织能力)(H)可以分解为两个组分:量化系统有序、连贯、有效的平均相互约束 X 和量化系统无序、不连贯和无效的“条件熵” Ψ ^[3]。

1.2 量化网络流系统的发展能力 C 、上升性 A 和恢复力 ϕ

下面将讨论限制在网络中的转移和转化上,也就是说,事件 i 可表示一定量的介质从小室 i 离开,事件 j 可表示一定量的介质进入小室 j 。那么,事件发生的概率可用流量表示:

$$p_{i.} = \frac{T_{i.}}{T_{..}} \quad p_{.j} = \frac{T_{.j}}{T_{..}} \quad p_{ij} = \frac{T_{ij}}{T_{..}} \quad (7)$$

其中,

$$T_{..} = \sum_{i,j} T_{ij} \quad (8)$$

式中,为系统总吞吐量,在经济系统中系统总吞吐量用 GDP 表示^[3]。将流量表示的概率式(7)代入式(1)、(4)、(5)可得式(9):

$$H = -k \sum_{i,j} \frac{T_{ij}}{T_{..}} \log\left(\frac{T_{ij}}{T_{..}}\right) \quad X = k \sum_{i,j} \frac{T_{ij}}{T_{..}} \log\left(\frac{T_{ij} T_{..}}{T_{.j} T_{.i}}\right) \quad \Psi = -k \sum_{i,j} \frac{T_{ij}}{T_{..}} \log\left(\frac{T_{ij}^2}{T_{.j} T_{.i}}\right) \quad (9)$$

此即网络流系统的平均不确定性 H 、平均相互约束 X 和“条件熵” Ψ 。式(9)中表征参数尺度的值为 k , 它只与对数底数有关,如当对数底数取 2 时, k 为 1 比特。但是 k 不能表征系统的物理维度,因为比特传递不了任何系统大小的信息。因此,在网络流系统中选取系统总吞吐量 $T_{..}$ 表征网络的大小^[4], 式(9)变为式(10—12):

$$C = T \cdot H = - \sum_{i,j} T_{ij} \log\left(\frac{T_{ij}}{T_{..}}\right) \quad (10)$$

$$A = T \cdot X = \sum_{i,j} T_{ij} \log\left(\frac{T_{ij} T_{..}}{T_{.j} T_{.i}}\right) \quad (11)$$

$$\phi = T \cdot \Psi = - \sum_{i,j} T_{ij} \log\left(\frac{T_{ij}^2}{T_{.j} T_{.i}}\right) \quad (12)$$

式中, C 为发展能力, A 为上升性, ϕ 为恢复力^[3]。由式(6)易知发展能力是上升性和恢复力的和:

$$C = A + \phi \quad (13)$$

式(13)表明系统的演化(或自组织能力)由两个因素组成:表征系统效率的上升性 A 和表征系统发生变化潜力的恢复力 ϕ 。在网络中,效率指网络充分表现出有组织和有效行为以保持系统整体性的能力而恢复力是指网络系统有灵活的后退空间和多样的行为以面对异常扰动及发展进化过程中的异常需求^[5]。对系统的发展而言,上升性和恢复力缺一不可,缺乏上升性将使系统缺乏生存所需的活力或内部组织;而恢复力过小将使系统在面对微小的异常扰动时都易于崩溃。只有当上升性和恢复力之间比例合适时,才既能保证系统处理物质、能量和信息流,又能保证系统从扰动中恢复,从而实现系统的可持续发展。

2 可持续性、上升性和恢复力之间的关系

前已述及,只有当上升性和恢复力的比例在合适的范围内时,系统才能实现可持续发展。Bernard 等指出,多样性(网络中作为“结点”的不同行为体的结点数)和连通度(结点之间的路径数)对上升性和恢复力都起着主导作用,并且作用力相反^[6]。通常多样性和连通度越高的系统在面对扰动时有更多选择,恢复力更强;相反,多样性和连通度越低的系统越趋向链式结构,效率越高,恢复力越弱^[6]。因此,可用多样性和连通度表征系统的可持续性与上升性和恢复力之间的关系(图1)^[5]。由图1可见,系统越远离最优平衡点,可持续性越弱,只有处于活力区域时系统才是可持续的。Ulanowicz 提出生态系统中上升性与发展能力的最优比例为 0.4596^[3],即上升性与恢复力之间的比例为 0.85 时系统是最可持续的。但这个结果能否直接用于其他系统(包括经济系统)仍需进一步验证。

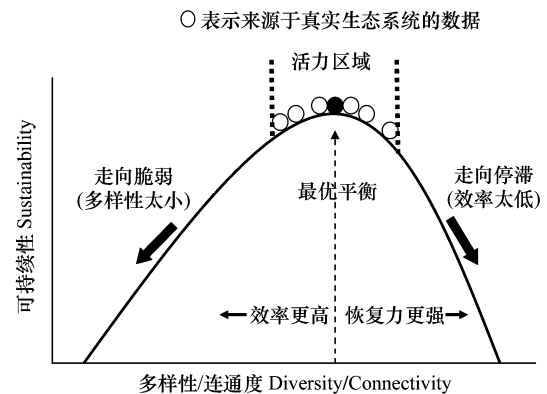


图1 可持续性、上升性和恢复力之间的关系

Fig. 1 Sustainability as function of the trade off between ascendancy and resilience

3 评价北京市经济系统 1985—2005 年可持续发展趋势

生态经济学中存在一个有很长历史根源的热力学假设:相似的能量概念和网络分析方法适用于所有物质-能量-信息流系统^[5]。因为系统科学的长期观察和 Illya Prigogine 对自组织系统的研究表明,这类系统在行为方式和发展动力学方面具有强相似性^[5]。目前,经济系统和金融系统中已经做了很多这方面的研究^[5-8]。在这里用上述网络分析方法分析经济系统可持续发展趋势。

目前尚不明确经济系统中最优可持续点和活力区域,不能建立起多样性和连通度与可持续性之间的关系。考虑到上升性 A 和恢复力 ϕ 之间比例合适时系统可持续,可建立 A/ϕ 与可持续性之间的关系。 A/ϕ 的值范围很大($0 \rightarrow +\infty$),不便于分析讨论,而 A/C 的值范围在 0—1 之间,且 $C = A + \phi$,因此可建立 A/C 与系统可持续性之间的关系。当 A/C (记为 a) 的值在合适的范围时,系统可持续;超出该范围,则系统不可持续。前已述及,生态系统中最优 a 值为 0.4596,但该值在经济系统中的应用还需进一步验证。这里假定经济系统的最优 a 值为 0.37^①。下面使用该方法分析北京市经济系统可持续发展趋势。

3.1 计算北京市 1985—2005 年上升性和恢复力等指标

在经济系统中,根据投入产出表(价值型)构建货币网络流,通过网络流系统研究经济系统演化过程。网络中的结点代表各个部门,流量代表部门之间的价值转移。根据投入产出基本流量表(n 部门),经济系统货

① Bernard 等指出,对复杂网络流而言,最优状态下恢复力几乎是效率的两倍^[6],这与 Morris 等的观点相同,他们认为大量赋予权重的随机网络中稳定子集的 a 值逼近 $1/e$ (0.37) 的渐近线^[9];本文同意以上二人的观点,假定经济系统中最优 a 值为 0.37

币网络流可分为 4 类:①系统外流入 i 部门的量;②由 j 部门流入 i 部门的量;③ i 部门的增加值;④ i 部门的最终使用。

根据北京市 1997 年 6 部门投入产出基本流量表(价值型),勾勒出北京市 1997 年由 6 部门组成的经济系统的货币网络流(图 2)。图 2 中,由系统外指向部门的箭头中,实线箭头表示部门的流入量(包括调入和进口),虚线箭头表示部门的增加值。由部门指向系统外的箭头表示部门的最终使用。弧线箭头表示部门对自身的投入。其他箭头则代表部门之间的相互流动。图 2 的货币网络流可用矩阵形式清晰表示出来,见表 1。

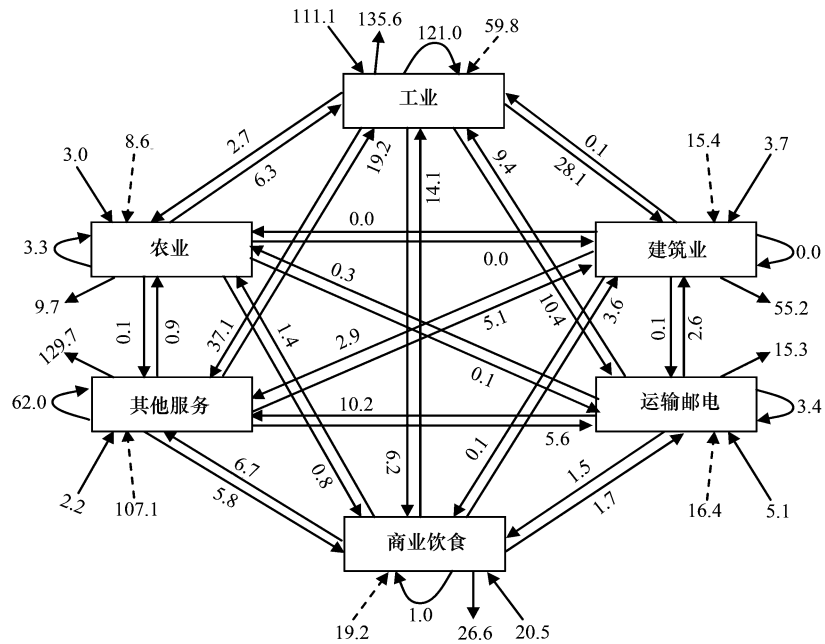


图 2 北京市 1997 年 6 部门组成的经济系统的货币网络流($\times 10^9$ 元)

Fig. 2 The currency network of 6 sectors economic system of Beijing in 1997($\times 10^9$ yuan)

表 1 北京市 1997 年的流量信息矩阵($\times 10^9$ 元)

Table 1 The flows information matrix of Beijing in 1997(10^9 yuan)

行业 Industry	农业 Agriculture	工业 Industry	建筑业 Construction	运输邮电 Transportation, post and telecommunication	商业饮食 Commercial and catering trade	其他服务业 Other services	最终使用 Final demand
农业 Agriculture	3.3	6.3	0.0	0.0	0.8	0.1	9.7
工业 Industry	2.7	121.0	28.1	10.4	6.2	37.1	135.6
建筑 Construction	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	2.9	55.2
运输邮电 Transportation, post and telecommunication	0.3	9.4	2.6	3.4	1.5	10.2	15.3
商业饮食 Commercial and catering trade	1.4	14.1	3.6	1.7	1.0	6.7	26.6
其他服务业 Other services	0.9	19.2	5.1	5.6	5.8	62.0	129.7
增加值 Value added	8.6	59.8	15.4	16.4	19.2	107.1	0.0
流入 Inflow	3.0	111.1	3.7	5.1	20.5	2.2	0.0

由表 1,可得系统 GDP 为 226.6×10^9 元;根据(10)式可求得发展能力 C 为 980.5×10^9 元 比特;根据(11)式可求得上升性 A 为 107.2×10^9 元 比特,根据式(12)可求得恢复力为 873.3×10^9 元 比特。同理,可求出 1985—2005 年其它年份的发展能力、上升性及恢复力,计算结果见表 2。

表 2 北京市 1985—2005 年 6 部门经济系统的上升性及相关指标

Table 2 The ascendancy and relative indices of Beijing economic system in 1985—2005

指数 Indices	1985	1987	1990	1992	1995	1997	2000	2002	2005
$C(10^9 \text{ 元} \cdot \text{比特})$	102.1	127.3	193.8	304.1	622.8	980.5	1256.5	1751.0	3123.0
$A(10^9 \text{ 元} \cdot \text{比特})$	11.2	14.8	20.3	29.4	61.3	107.2	145.3	210.6	301.8
$\phi(10^9 \text{ 元} \cdot \text{比特})$	90.9	112.5	173.5	274.7	561.5	873.3	1111.2	1540.3	2821.2
a	10.94%	11.61%	10.47%	9.66%	9.84%	10.93%	11.56%	12.03%	9.66%

C 表示发展能力; A 表示上升性; ϕ 表示恢复力; 本文称 a 为相对活力系数, 是上升性/发展能力的值, 表示对系统内有组织流的相对测量。投入产出表来源于北京市统计局。计算过程中对数底数取 2。

3.2 分析

根据前面的假定, 最优 a 值为 0.37, 因此 a 与可持续性 s 之间的关系可用图 3 示意。结合表 2 中的 a 值和图 3 可得, 北京市经济系统 1985—1987 年间 a 值由 10.94% 变为 11.61%, 系统朝着最优可持续的方向发展; 而 1988—1992 年间 a 值由 11.61% 变为 9.66% 系统朝着远离最优可持续点的方向发展; 1993—2002 年 a 值由 9.66% 变为 12.03% 再次朝着最优可持续点的方向发展; 2003—2005 年再次向远离最优可持续的方向发展。并且在这 20 年间系统的 a 值均位于最优可持续点的左边, 说明系统要向更可持续的方向发展需要提高系统的效率。这就需要强化对提高系统效率边际贡献较大的路径, 抑制对提高系统效率边际贡献较小的路径。而在这里上升性表征了系统的效率, 因此可通过计算一阶路径对上升性的边际贡献 (即某路径上的流量增加一个单位时, 对上升性的贡献大小) 判断需要加强哪些路径。

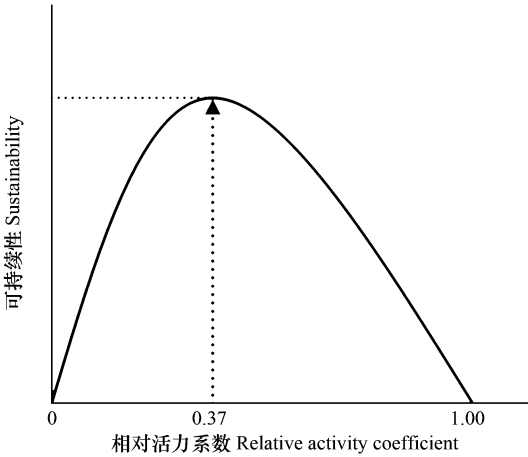


图 3 可持续性 & 相对活力系数之间的关系

Fig. 3 The relationship between sustainability and relative activity coefficient

通过计算很容易可以得到一阶路径对上升性的边际贡献, 见式 (14)。

$$\frac{\partial A}{\partial T_{ij}} = \log\left(\frac{T_{ij}T_{..}}{T_{.i}T_{.j}}\right) + \log(e)$$

(14)

结合表 (1) 和式 (14) 可得一阶路径对上升性的边际贡献, 见表 3。

表 3 北京市 2005 年经济系统一阶路径对上升性的边际贡献

Table 3 The contribution of each individual process to ascendancy at the margin of Beijing in 2005

行业 Industry	农业 Agriculture	工业 Industry	建筑业 Construction	运输邮电 Transportation, post and telecommunication	商业饮食 Commercial and catering trade	其他服务业 Other services	最终使用 Final demand
农业 Agriculture	5.46	0.36	-1.87	-3.63	0.31	-2.47	2.38
工业 Industry	0.37	1.64	2.31	1.25	0.33	0.64	1.58
建筑 Construction	-5.60	-3.99	0.00	-1.14	-0.10	0.55	2.81
运输 邮电 Transportation, post and telecommunication	-0.28	0.04	1.13	2.08	0.51	1.97	1.86
商业饮食 Commercial and catering trade	-1.07	-0.47	0.21	0.67	-0.44	0.78	2.56
其他服务业 Other services	-0.69	0.20	0.98	0.80	1.00	1.46	2.20
增加值 Value added	1.88	1.22	1.22	2.34	2.43	2.78	0.00
流入 Inflow	2.63	2.65	0.85	1.40	2.40	0.20	0.00

计算过程中对数底数取 2

由表 3 可见,农业-农业,调入农业产品,建筑业和其他服务业的最终使用对上升性提高的边际贡献较大,分别为 5.46,2.63,2.81,2.20。如果将建筑业的最终使用增加一倍,则 a 由 9.66% 变为 10.42%;如果将调入农业的量增加一倍,则 a 变为 9.73%,可见加强对上升性边际贡献大的流可不同程度提高系统的效率。对工业-工业这条路径的调整,可将工业视为一个系统,再采用相同的方法调整工业的产业结构即可。

相反,若需要提高系统的恢复力可用与提高上升性类似的方法,通过计算一阶路径对恢复力的边际贡献进行调整。由上面的分析可见,利用该方法可以很容易地判断出经济系统是否朝着更可持续发展的方向,并且能提出可行的对策措施。

3.3 讨论

由于经济系统中的最优可持续点和可持续范围不明确,只能判断经济系统相对于最优可持续点的发展趋势。因此,本文更多的是提供了一种新的评价视角。若明确了最优可持续点,可求得每条路径对可持续性的边际贡献,这样就可对系统进行动态监测,通过调整流量调整系统结构,使系统朝着最优可持续方向发展。

References:

- [1] Xu Z M, Cheng G D. Framework to address human factors in a human earth system. *Science & Technology Review*, 2008, 26 (3) : 86-92.
- [2] Zhao Z Q, Li S C, Gao Y. Emergy-based modification for ecological footprint accounting and application to open eco-economic system: a case study of Shenzhen City. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5) : 2220-2231.
- [3] Ulanowicz R E, Goerner S J, Lietaer B, Gomez R. Quantifying sustainability: resilience, efficiency and the return of information theory. *Ecological Complexity*, 2009, 6(1) : 27-36.
- [4] Ulanowicz R E. *Growth and Development, Ecosystems Phenomenology*. New York: Springer-Verlag, 1986: 203.
- [5] Goerner S J, Lietaer B, Ulanowicz R E. Quantifying economic sustainability: implications for free-enterprise theory, policy and practice. *Ecological Economics*, 2009, (69) : 76-81.
- [6] Lietaer B, Ulanowicz R E, Goerner S. Options for managing a systemic bank crisis. *Veolia Environnement Perspectives*, 2009, 2(1) : 1-15.
- [7] Xu Z M, Cheng G D, Chen D J, Templet P H. Economic diversity, development capacity and sustainable development of China. *Ecological Economics*, 2002, 40(3) : 369-378.
- [8] Huang J L, Xu Z M. The ascendancy formula and its application in economic systems: take Gansu province as a case study. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11) : 4785-4792.
- [9] Morris J T, Christian R R, Ulanowicz R E. *Aquatic Food Webs*. USA: Oxford University Press, 2009: 73-85.
- [10] Holling C S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1973, 4: 1-23.
- [11] Ulanowicz R E. The balance between adaptability and adaptation. *BioSystems*, 2002, 64: 13-22.

参考文献:

- [1] 徐中民,程国栋. 人地系统中人文因素作用的分析框架探讨. *科技导报*, 2008, 26 (3) : 86-92.
- [2] 赵志强,李双成,高阳. 基于能值改进的开放系统生态足迹模型及其应用. *生态学报*, 2008, 28(5) : 2220-2231.
- [8] 黄茹莉,徐中民. 上升性理论在经济系统中的应用——以甘肃省为例. *生态学报*, 2007, 27(11) : 4785-4792.

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 30 卷 第 24 期 (2010 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 24 2010

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