

## 中国区域可持续发展定量研究进展

张金萍<sup>1,2</sup>, 秦耀辰<sup>1,\*</sup>, 张二勋<sup>2</sup>

(1. 河南大学环境与规划学院, 开封 475001; 2. 聊城大学环境与规划学院, 聊城 252059)

**摘要:**基于 CNKI 中出现区域可持续发展定量研究以来的核心期刊文献视角,对文献的年度分布、期刊分布进行统计分析,继而从社会-经济学方法、生态学方法、系统学方法、新兴方法 4 个方面透视区域可持续发展定量研究方法的变动过程及趋势。分析表明,伴随文献的逐年递增,定量研究所涉及的学科领域不断拓展;方法体系由单调走向丰富,但模型的作用有被夸大的趋势;研究内容以水平评价为主,其余评价内容较少涉及;多尺度及动态的时间序列研究全面铺开,但时空结合研究有待深入。系统科学、复杂性理论及空间信息技术的综合运用将促进区域可持续发展定量研究的进一步发展和完善。

**关键词:**区域可持续发展;定量研究模型;系统学方法;生态学方法

文章编号:1000-0933(2009)12-6702-10 中图分类号:X22 文献标识码:A

### Quantitative study methods of regional sustainable development in China: a review

ZHANG Jin-Ping<sup>1,2</sup>, QIN Yao-Chen<sup>1,\*</sup>, ZHANG Er-Xun<sup>2</sup>

1 College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China

2 College of Environment and Planning, Liaocheng University, Liaocheng 252059, China

*Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(12): 6702 ~ 6711.

**Abstract:** Intensification of Chinese research about sustainable development these last twenty years is reflected in the nature of peer-reviewed published output, analysis of which has been undertaken using the 1992 — 2008 record in the core Journal in CNKI. Statistical analysis shows that, apart from changes in the adoption and diffusion of research methods and its affect on the relative significance of enquiry types (social-economic, ecological, systematic and technical), the study shows that, primarily, fields involving quantitative study are expanding. Secondly, the range of approaches and techniques deployed has become wider. Notably, the role of modeling has become augmented, even to the point of over-emphasis. Thirdly, evaluation of regional sustainable development receives progressively increased attention, at the expense of other evaluative studies. It is clear that multi-scale studies and dynamic time-series studies are typically comprehensive, and projects based on spatio-temporal analysis are in more demand than supply. In prospect is progress with integration of system science, complexity theory and spatial information technology. Accordingly, research output in the service of decision support for sustainable regional development is expected to offer even more than before.

**Key Words:** regional sustainable development; quantitative study models; systematic method; ecological method

20 世纪 90 年代以来,随着可持续发展研究和认识的深入,国内区域可持续发展定量研究成为学界关注的热点领域。在不同时点、不同尺度上的自然或社会经济区域,各种方法乃至多种方法的交叉运用被越来越多的学者所接受,从而丰富了可持续发展定量研究的方法体系及其理论内涵。不断推陈出新的定量方法不仅在十余年的实践中经历着优胜劣汰的检验,各种方法本身也在不断加以改进和完善。然而,目前国内区域可

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Q2005E01)

收稿日期:2009-03-14; 修订日期:2009-07-10

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: qinyc@henu.edu.cn

持续发展定量研究方面的文献综述研究,多注重从指标体系构建、方法评介及改进等某些侧面进行总结,广度和深度都有所欠缺,且多采用定性分析和描述,无法从中得到定量研究方法发展历程的清晰脉络和轮廓。基于 CNKI 的核心期刊文献视角,通过统计分析来透视区域可持续发展定量研究方法的变动过程及趋势是一种科学有效的途径,也是厘清区域可持续发展定量研究脉络的重要依据。

## 1 资料获取及总体分析

### 1.1 资料获取

利用 CNKI 中国期刊全文数据库,在篇名及关键词中以“持续”、“永续”、“协调”和“评价”、“评判”、“评估”、“定量”等字段以及某种具体方法的组合,检索反映区域可持续发展定量研究的核心期刊文献,并从其所附参考文献中进行补充搜集。加上少量被引频次较高的非核心期刊文献,截至 2009 年 4 月 15 日,共检索文献 1504 篇(不包括增刊和专刊),其中核心期刊文献 1456 篇,占 97%,时间范围从 1992~2008 年共 17 a。

### 1.2 总体分析

从年度分布来看,区域可持续发展定量研究文献数量总体上逐年增长(图 1)。2001 年之所以出现小的峰值,不仅与可持续发展评估工作日益受到各级政府部门的重视有关,而且与学界为建立适合中国国情的区域可持续发展评价指标体系所做的卓越贡献密不可分,尤其是中国科学院可持续发展研究组(1999)“中国可持续发展指标体系”的提出,促动了区域可持续发展定量研究成果的大量涌现。2005 年后发文量的大幅增长与生态足迹、能值分析等生态学方法在区域可持续发展评价中的应用密切相关。有力地证明了继理论研究之后,定量研究已经成为一个新的学术热点。

从期刊分布来看,检索文献分布于 316 种期刊中,地理学、环境学、农业类刊物刊载 875 篇,占 61.3%,构成发文的“第一阵营”,各大学学报、科学研究类、数学及统计类、经贸类刊物刊载 522 篇,占 36.2%,成为“第二阵营”,其他类期刊则较少分布。充分展现了区域可持续发展定量研究多学科、多角度但又有所学科偏重的特点。

从文献分类来看,综述类文献占 10.1%,主要反映区域可持续发展整体的及某一行业或部门的定量研究进展与趋势<sup>[1]</sup>、进行方法评介<sup>[2]</sup>等。理论模型类文献仅占 3.2%,多从不同学科及理论的角度采用规划模型、系统动力学模型、Logistic 模型等建立框架(概念)模型,或通过某种图示及模式<sup>[3]</sup>来度量区域可持续发展的程度。作为深刻挖掘系统本质的有力工具,理论模型的合理性直接影响到指标的选择,当前对框架模型研究的不重视及理解的不一致导致指标体系设计存在较大差异。可操作方法类文献占 86.7%,均给出具体算法,可以根据模型运算结果进行评判,其中 84.1% 为案例研究。区域可持续发展需要定量研究结论提供决策指导,这促使学界对实践性研究越来越重视。

## 2 区域可持续发展定量研究脉络分析

社会-经济学方法、生态学方法、系统学方法和新兴方法代表了国内区域可持续发展定量研究的主要脉络,不仅表现在 4 类方法的此消彼长,其内部的分化和方法之间的交叉、渗透、融合也在不断加强(表 1、表 2)。

### 2.1 社会-经济学方法

社会-经济学方法的国内实践研究只占 5.1%,多集中在环境经济核算、投入产出分析和人文发展指数等领域。

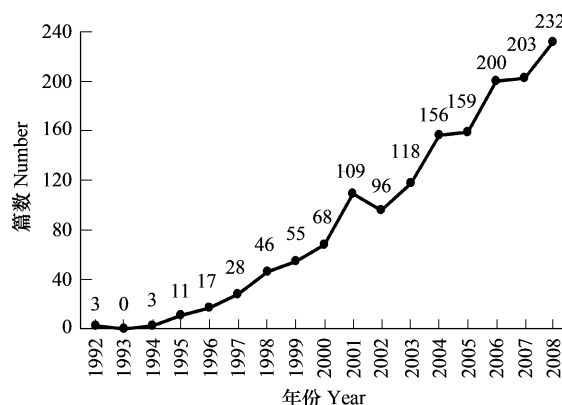


图 1 CNKI 区域可持续发展定量研究文献的时间分布统计图

Fig. 1 The annual distribution of quantitative papers on regional sustainable development (CNKI database)

### 2.1.1 环境经济核算

国内环境经济核算的焦点是基于综合环境与经济账户系统(SEEA)的绿色 GDP 研究,以方法评介及改进类综述或理论框架<sup>[4]</sup>为主,实践研究<sup>[5]</sup>只占此类文献的 45%,一般集中在资源耗减价值与环境污染价值的简化计算方面,其中对 GNP 或 GDP 的修正研究已取得初步成果,但对环境的一些重要非市场价值评估仍属空白<sup>[6]</sup>。环境经济核算将资源环境实物核算与经济货币核算连接起来,为监测可持续发展提供了一个综合的方法。它适宜区域对比和宏观分析,可以反映区域可持续发展的趋势,促使可持续发展进入实践领域。然而,自然服务和资源商品的边际价格不能反映真正的资源稀缺性、要素的互补性、结构和功能的必要性及信息价值和社会偏好,这些都是生态经济研究的核心问题<sup>[7]</sup>。力图把经济、社会、人口、科技、环境等要素纳入到核算体系中,实现真正意义上的综合核算还有待于方法的进一步发展。

### 2.1.2 投入产出核算

投入产出核算作为当代国民经济核算体系的一个独特组成部分,20 世纪 90 年代末经过投入产出表的扩充,从国民经济“部门”、“活动”的角度对资源、环境、经济、社会进行一体化核算,多涉及环保投入产

出表的编制、行业及部门可持续发展的测度<sup>[8]</sup>等。进行区域多个系统综合评价研究的不多,但秦耀辰等<sup>[9]</sup>提出的区域人地相互作用潜力三维指标体系不啻为一个有益的探索。投入产出核算用于区域可持续发展定量研究具有非常实际的意义,近年来主要集中于投入产出表的拓展方面。由于资源、环境对区域发展的影响力很难量化,目前这类研究没有大的突破,但应用投入产出法进行生态足迹计算<sup>[10]</sup>是一个新的方向。

### 2.1.3 人文发展指数

国内采用人文发展指数进行区域可持续发展定量研究的文献不多,时间序列亦不完整,尽管有几例实证研究试图建立中国化的人文发展指数,但整体上以国外研究评介为主。HDI 能反映区域社会发展、公平分配、利益均衡等社会评价的基本内容,但由于针对的是较高阶段的可持续发展评价,不完全适合中国的实际情况,应用大受限制。近年来出现了将其加入系统学方法的指标体系进行研究的例子<sup>[11]</sup>,有望通过这种融合来拓展其应用领域。

社会-经济类方法多从单一领域衡量区域可持续发展。国内学者在研究中注意立足中国国情,提高指标的可操作性。尽管这类方法简单易行,但环境指标以描述性的为主,尚不能全面反映经济效益、代际公平和生态整体性的基本内涵。并且,具体指标及评价结果与可持续性的关系有时难以从机理上进行解释,不能满足综合决策和公众参与的要求,方法体系需不断拓展和完善。

## 2.2 生态学方法

生态学方法成为国内区域可持续发展定量研究的前沿领域,以生态足迹模型和能值分析方法为主(图 2),物质流分析法目前尚处于起步阶段,但从其发展速度看将有广阔的应用空间。

### 2.2.1 生态足迹

Rees W. E. 及 Wackernagel M. 提出的“生态足迹”计算模型将资源供给和消耗统一到生态生产性土地面

表 1 可操作方法类文献年度发文数分类统计表(篇)

Table 1 The annual statistics of papers in operational methods

| 年份<br>Year  | 社会-经济                                |                               |                               |                       | 总计<br>Total |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|-------------|
|             | 学方法<br>Social-<br>economic<br>method | 生态学方法<br>Ecological<br>method | 系统学方法<br>Systematic<br>method | 新兴方法<br>New<br>method |             |
| 1992        |                                      |                               | 2                             |                       | 2           |
| 1994        |                                      |                               | 1                             |                       | 1           |
| 1995        | 1                                    |                               | 9                             |                       | 10          |
| 1996        |                                      |                               | 14                            |                       | 14          |
| 1997        | 1                                    |                               | 11                            |                       | 12          |
| 1998        | 1                                    | 3                             | 22                            |                       | 26          |
| 1999        | 2                                    | 3                             | 39                            | 1                     | 45          |
| 2000        | 3                                    | 2                             | 43                            | 5                     | 53          |
| 2001        | 6                                    | 14                            | 62                            | 9                     | 91          |
| 2002        | 4                                    | 11                            | 63                            | 8                     | 86          |
| 2003        | 3                                    | 24                            | 73                            | 6                     | 106         |
| 2004        | 11                                   | 39                            | 66                            | 13                    | 129         |
| 2005        | 10                                   | 59                            | 54                            | 16                    | 139         |
| 2006        | 8                                    | 74                            | 75                            | 19                    | 176         |
| 2007        | 10                                   | 99                            | 64                            | 16                    | 189         |
| 2008        | 4                                    | 131                           | 77                            | 11                    | 223         |
| 总计<br>Total | 64                                   | 459                           | 675                           | 104                   | 1302        |

表 2 可操作方法类文献按方法分类的发文数明细表(篇)

Table 2 The statistics of papers classified by operational methods

| 一级 First-class                           | 二级 Second-class                                                                                                                                        | 三级 Third-class                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 社会-经济学方法<br>Social- economic<br>method64 | 环境经济核算<br>Environmental and economic accounting 48                                                                                                     | 绿色 GDP green GDP 31,真实储蓄 genuine saving 10,可持续经济福利指数 index of sustainable economic welfare 4, 其他 other methods 3                                                                                                     |
|                                          | 投入产出法 Input-output analysis 8<br>人文发展指数 Human development index 7<br>成本效益分析 Cost-benefit analysis 1                                                    |                                                                                                                                                                                                                      |
| 生态学方法<br>Ecological method459            | 生态足迹 Ecological footprint 280                                                                                                                          | 综合法 compound approach 232,综合法与成分法结合 combination of compound approach and component-based approach 24,成分法 component-based approach 20,投入产出法 input-output approach 4                                                   |
|                                          | 能值分析 Emergy analysis 109<br>相对资源承载力<br>Relative carrying capacity of resources 34<br>物质流分析 Material flow analysis 33<br>其他 Other methods 3             | 环境可持续性指数 environmental sustainability index 2,净初级生产力的人类占用 human appropriation of net primary production 1                                                                                                            |
| 系统学方法<br>Systematic method675            | 加权法 Weighting method 320                                                                                                                               | 层次分析法 AHP221(含其他法修正 including the improved),专家咨询法 Delphi 34,几何平均法 geometric mean13,熵权法 entropy method11,主成分法 principal component analysis5,均方差法 mean square deviation 5,其他 other methods 31                          |
|                                          | 指标体系 Indicator system 97<br>模糊数学方法 Fuzzy mathematics 84                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                      |
|                                          | 统计学方法 Statistical method 80                                                                                                                            | 主成分法 principal component analysis 68, Logistic 模型 Logistic model 4, 聚类分析法 clustering analysis 2, 系统辨识 system identification 1,其他 other methods 5                                                                     |
|                                          | 系统动力学 System dynamics 35<br>空间信息技术 Spatial information technology 23<br>灰色系统模型 Grey system model 22<br>规划与优化方法<br>Planning and optimization methods 14 | 信息系统 information system 16,空间分析 spatial analysis7                                                                                                                                                                    |
| 新兴方法<br>New method 104                   | 非线性模型 Nonlinear model 54                                                                                                                               | 线性规划 linear programming 8,数据包络分析 data envelopment analysis 6                                                                                                                                                         |
|                                          | 线性组合模型 Linear combination model 39                                                                                                                     | 神经网络 neural network 42,投影寻踪 projection pursuit 5,支持向量机 support vector machine 4,元胞自动机 cellular automata 2,随机模拟方法 random simulation method 1                                                                          |
|                                          | 优化算法 Optimization algorithm 8                                                                                                                          | 物元可拓 matter-element extension 8,标识星法 orientor star 6,属性细分 attribute subdivision 5,比较优势 comparative advantage 4,距离函数法 distance function 2,集对分析 set pair analysis 2,密切值法 osculating value method 2,其他 other methods 10 |
|                                          | 其他 Other methods 3                                                                                                                                     | 遗传算法 genetic algorithm 6,免疫禁忌算法 immune taboo search 1,蚁群算法 ant colony algorithm 1<br>指标体系 indicator system 2,太极-八卦理论 Taiji-Bagua theory 1                                                                            |

积这一全球一致的指标上,使可持续发展的衡量真正具有空间可比性。通过相同的单位比较人类的需求和自然界的供给,评估结果清楚地表明在所分析的每一个时空尺度上人类对生物圈所施加的压力及其量级<sup>[1]</sup>。可操作性强的特点使其 1999 年一经引进即迅速应用于基于行政区划的区域、城市发展、经济、环境、旅游等不同尺度的生态评估<sup>[12-15]</sup>中。目前仅有少量文献涉及农业(农村)及其它种类资源的评价研究,这与模型的发展历史不长以及最初提出的背景是基于国家和区域层次的可持续发展评价有关。从生态足迹的计算方法上看,国内研究以自上而下分析的综合法为主,从国家尺度到农户尺度,从某一时点到长时间序列以及不同区域间的对比研究均有涉及。自下而上分析的成分法尽管较综合法更接近于真实的资源消耗情况,但由于数据统计上的难度应用较少,且研究多集中于旅游生态足迹的测度。投入产出法可包含服务部门的投入及产业间的联系,因而更加科学和准确,但前提是需要完整且更新及时的投入产出表,故实证研究处于初级阶段。生态足

迹这一静态模型难以完整反映系统可持续性状态,长时间序列研究的合理性存在争议<sup>[16]</sup>,单独使用时常得出贫困地区比发达地区可持续性强的结论,这与可持续发展的基本原则相悖。从不同侧面改进模型<sup>[10,17]</sup>以使其契合可持续发展理论和原则,加强成分法与投入产出法的探索并与社会<sup>[18]</sup>、经济等指标相结合,以使其适应不同领域及实现区域复合系统的综合评估应是今后研究的重点。

### 2.2.2 能值分析

美国生态学家 Odum H. T. 20 世纪 80 年代末创立的能值理论在国内的实践研究晚了近十年,但发展势头迅猛。与生态足迹模型不同的是,能值分析方法的应用领域多为基于能值持续性指数的农业(农村)、区域层面与城市发展等的现状评价<sup>[19~22]</sup>研究。能值分析解决了不同类型、不同性质能量间的不可加和性难题,但作为弱可持续性评价,能值转换率的适用性、可持续性的评判标准等问题有待深入研究。由于可衡量分析自然界和人类社会经济系统,能值方法在度量区域复合生态系统的可持续发展程度方面更具优势,这在一定程度上可以弥补传统生态足迹模型的缺陷,近年来已出现把二者结合起来的模型改进研究<sup>[23]</sup>。

生态学研究方向力图把“环境保护与经济发展之间取得合理的平衡”作为可持续发展的重要指标和基本原则<sup>[24]</sup>,具有生态偏向性。多数研究仅涉及可持续性的现状评价,近几年出现的预测研究常借助回归模型、灰色预测模型完成。生态学视角往往突出自然生态系统在区域可持续发展中的作用,因而常得出区域不可持续或者弱可持续的结果,尽管可以起到警示作用,但与采用系统学研究方法得出的结论多不相吻合。

## 2.3 系统学方法

系统学方法通过建立一个反映自然、经济、社会系统耦合的层次结构指标体系,力图深刻揭示区域可持续发展这一复杂巨系统的运行机制。这种方法计算相对容易、结果直观且易于决策者理解和应用,因而倍受学界关注。作为主流方法之一,系统学方法早期以指标体系构建作为重要研究内容,目前重心已逐渐转向指标聚合模型研究。从评价模型看,早期多采用理论较完善的系统动力学模型、线性规划模型等进行概念模型构建及优化调控研究,进入 21 世纪则以加权法的应用研究占据绝对优势,模糊数学方法应用也较广泛,这些模型多通过指标聚合给出综合指数,对区域可持续发展水平及能力进行横向及纵向对比研究(表 2)。

### 2.3.1 加权法

但凡区域可持续发展综合指数是基于权重和指标的线性加权求和、(指数)加权求积、几何平均数或这几种方法结合而得出的,均归为加权法一类。从聚合方法来看,加权法的早期研究多采用层次分析法、专家咨询法等确定权重,进行指标无量纲化之后的线性加权聚合<sup>[25]</sup>。它体现的是“总体等于部分之和”的思想,要求评价指标相互独立,故采用主成分分析法与相关分析法进行指标筛选和独立性分析是不可忽视的步骤。由于某一子系统的不可持续性可以被其它子系统的可持续性弥补,综合指数对不同评价对象间指标值的变化及差异反应不敏感,使得评价结果相对温和,可能误导决策者做出可持续发展趋势的错误估计。当不能保证指标间的相互独立性时,线性加权聚合必然导致信息的重复叠加,乘法聚合<sup>[26]</sup>被引入研究中,以适应指标间相互不可替代且具有强烈关联的场合。乘法运算的性质决定评价结果对指标值变化的反应比线性加权聚合更敏感,因而在当前应用中,指标聚合方法演变为根据各层次统计指标数值是相近还是悬殊而选择采用求和、求积或是二者的混合模型来完成不同层次指标的聚合。从权重确定方法来看,早期多采用层次分析法单一手段确定权重,之后出现了基于标度及一致性改进<sup>[27]</sup>的层次分析法应用。另外,为了克服主观赋权法的不足,改用信息熵、主成分分析法或因子分析法等客观赋权法进行修正甚至完全摒弃主观赋权法以确定权重。

近几年加权法应用研究的优势地位有所削弱(图 2),但目前仍具有不可替代的实际意义。生态学及其他新兴评价方法的挑战是一个因素,但方法本身的缺陷是主要原因——系统论的核心理念是“总体不等于部分之和”,而应用最广的线性加权聚合无法体现这一点;并且,进行横向和纵向对比研究时,静态权重的应用值得商榷,而动态权重的确定鲜见研究,这使得评价结果的可比性受到质疑。

### 2.3.2 模糊数学方法

模糊综合评判法不仅可以对广泛存在的中介过渡指标(无论是定性还是定量的)进行模糊量化处理,而

且评判结果可以综合指数和向量两种形式给出,提供了更加丰富的评价信息。在准确把握系统性质的基础上,评价更灵活和贴近客观实际,故在区域复合系统、城市、水土资源评价<sup>[28~30]</sup>等方面应用广泛。更重要的是,模糊数学思想逐渐渗透到其他综合评价法中以实现模糊因素的定量化,在加权法中构造隶属函数进行指标值的无量纲化处理<sup>[31]</sup>是最典型的例子。最近出现了模糊数学和神经网络<sup>[32]</sup>等新兴模型相结合以处理复杂区域可持续发展评价问题。但是此法一方面实现了模糊问题的量化处理,另一方面也在评价中引入了主观性和不确定性,主要表现在隶属函数构建及评价标准集设定需要大量的专业及经验知识,处理不当会直接影响到评价结果的可靠性及可用性。并且,模糊综合评判法不能解决指标信息重复叠加问题,故指标的独立性分析是重要环节。

### 2.3.3 空间信息技术

空间信息技术具有强大的空间数据处理和现实世界模拟能力,为区域可持续发展评价提供了新的思路,

但实践研究水平不高且发展缓慢,且多集中在相关评价信息系统<sup>[33]</sup>开发领域。真正采用 GIS 手段,从指标的空间统计分析特征入手,进行指标的空间化,考察区域可持续发展指标的空间分异规律,进行多维时空模拟的研究<sup>[34]</sup>较少见,而把应用其他方法得出的结果利用 GIS 工具进行空间可视化的研究<sup>[35]</sup>较多。空间信息技术本身的难度使社会、经济、生态学家望而却步,国内 GIS 软件及相关空间分析工具研发滞后也是一个因素。然而,对原始指标进行图形、属性数据的处理及可视化仅仅是空间信息技术最基础的功能,其更大的应用价值体现在区域可持续发展评价的时空数据库与模型构建、过程模拟、多元信息复合分析、动态预测等多个方面,可以为可持续发展的监测、调控、规划与决策管理提供全面技术支持。

系统学方法 2006 年之后有落后于生态学方法的趋势,这说明在主流方法的成熟和普及之后,由于方法上创新的艰难,学者们的兴趣发生了转向——转而探索新的方法和模型或其它学科领域。目前系统学方法文献研究的注意力更多地放在模型选取的严密性以及对于评价结果的解释上,且在评价的各个环节越来越注重各种数学方法的交叉与融合以弥补单一模型分析的缺憾。这就是说,采用一个逻辑严密又具有较好解释性和易于移植的方法(模型)来进行区域可持续发展评价成为近年来的普遍做法,方法(模型)的作用得到了空前的重视。然而,无论是采用哪种指标聚合方法,其效果都取决于深刻反映区域可持续发展系统本质的指标体系设计及权重是否得当。在指标体系结构一定的情况下,权重确定往往起决定性作用,由于主观及客观赋权法均存在争议,也就使得评价结果的可比性和推广性较差,单纯追求聚合模型的复杂与精细也就失去了意义。

### 2.4 新兴方法

学科交叉与融合的背景下,近 10 年来,数十种新兴数学理论、优化方法和技术应用于区域可持续发展评价,它们提供了这一问题的不同解决思路 and 新的视角,非线性模型是其中的代表(表 2)。

非线性模型的特点是需要根据目标函数及约束条件,经过一定数量样本数据的多次迭代计算(训练)以获得最优结果,如神经网络模型<sup>[36]</sup>、投影寻踪模型<sup>[37]</sup>等。其中,神经网络模型经过 30 余年的理论探索,试图解决区域可持续发展系统的多维、非线性难题,成为近年来的热点之一。它智能化程度高,经过训练后允许输入数据不太准确,鲁棒性强,适合大数据量模拟。针对区域可持续发展这一“黑箱”问题,训练后的网络绕过了系统学方法中争议较大的指标权重确定过程,只需给出指标数据,就可根据训练时获取的知识得出精确

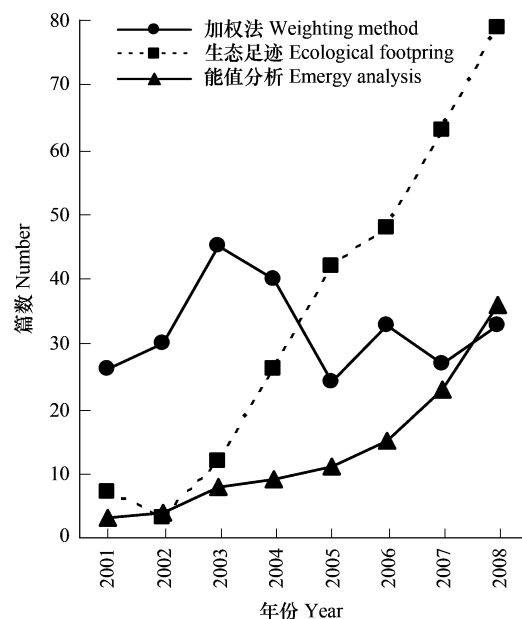


图2 三类方法发文数年度变化统计图

Fig. 2 The annual statistics of papers in three methods

的结果。目前应用主要是基于 BP 神经网络的评价、算法改进与优化方法的探讨,其他神经网络应用较少。算法的改进多体现在与模糊数学等方法融合<sup>[32]</sup>,优化方法多选择遗传算法<sup>[38]</sup>。神经网络模型可用于对区域可持续发展趋势的预测研究,而传统方法在解决预测问题时多选用线性回归模型,相比而言,神经网络模型更能体现系统的非线性本质。然而,精确评价与预测研究的基础是合理的网络结构与区域的大量样本数据,而网络结构目前尚没有公认的确切模式,样本选取及生成方式研究亦不深入,或数量太少或主观性太强,使得可持续发展系统演化行为的定量研究结论值得推敲。

本文界定的新兴方法主要是基于系统学方法的延伸和拓展,目前整体研究水平不高。由于多数方法本身存在不足或仅是其他领域技术的简单移植,往往很难从区域可持续发展角度对模型的含义进行解释。有的方法太过复杂,参数设置需经验试凑,人工智能技术水平及相关软件的研发是其进一步发展的瓶颈。

### 3 结论

1992~2008 年的 CNKI 核心期刊文献统计分析表明,现有评价方法对区域可持续发展系统功能的衡量和研究,均是单一向度的,往往是系统某个或某几个侧面的描述和探索,无法对系统整体进行综合性的阐释。尽管迄今尚未形成一个共识的标准和模型,但研究方法的多维度、多视角性正体现了可持续发展的多学科特色和复杂性特征。总体上看,区域可持续发展定量研究取得的成就不容忽视,但问题也不容小觑。

#### 3.1 方法体系由单调走向丰富,但模型的作用有被夸大的趋势

17a 来,社会-经济学方法、生态学方法、系统学方法均有所发展,但程度大有不同。环境经济核算、生态足迹模型和加权法分别成为各自的代表。系统学方法一直是当之无愧的主流方法,进一步的发展有赖于对经济、社会、资源、环境子系统及其协调关系的深刻认识。生态学方法是今后若干年内的新生力量,区域复合系统综合评价是其探索方向。社会-经济学方法的相对地位有所下降,通过方法间的融合可望焕发生机。借鉴最新的数学理论、优化方法和技术,新模型新思路层出不穷,大大开阔了研究的视野,有望解决区域可持续发展的预测预警问题。模型的作用得到空前的重视,定量化进程得以大大推进,尽管仍以引进学习为主,但已初露自主创新的端倪。同时也应看到,当前研究有夸大模型作用的趋势。模型应用的效果取决于对系统本质的深度剖析,方法离开了思想和理论的指导是毫无意义的。因此过分依赖模型以及过分精细的模型研究均可能背离区域可持续发展评价的初衷。

#### 3.2 重视水平评价,而其余评价内容较少涉及

现有研究多为区域可持续发展现状或水平的评价,即使是长时间序列的纵向研究也只能表明系统发展的历史状况,无法作为解释可持续性发展趋势的依据。而能体现系统发展动因及潜力的可持续发展能力评价研究目前处于从属位置。并且,公平性评价、预警研究、优化调控研究等均处于较薄弱的理论模型研究阶段,预测研究与子系统之间的协调性研究也是仁者见仁、智者见智,模型多样化导致一些研究产生较大偏差。因此,从研究内容上看,今后研究的焦点应是基于水平评价基础上的能力评价以及公平性、协调性的综合测度,通过方法的交叉融合为预测预警研究及优化调控研究提供支持。

#### 3.3 多尺度及时间序列研究全面铺开,但时空结合研究有待深入

多尺度研究全面铺开,从宏观的国家尺度到微观的个人尺度研究均有广泛的探讨,但以中观尺度的省域、市域研究为主。动态的时间序列研究与区域间的对比研究日益得到重视,但时空结合研究还需继续深入。由于地理现象的尺度依赖性,在方法选择上也应重视尺度问题,但现有实证研究中多忽略尺度效应,采用同一模型进行从宏观尺度到微观尺度的案例研究非常多见。尽管根据地域的尺度选取模型在理论上可行,但尺度效应发生变化的临界点却无法采用传统方法确定,这需要进行空间分析,借鉴空间信息技术的研究成果。因此,以 GIS 为核心的空间信息技术将从专家系统的角度,对区域各组成要素进行空间分异、计量分析、时空模拟及动态预测的整体研究,以实现社会、经济、资源与环境等要素的时空协调管理和监控。

区域可持续发展定量研究方兴未艾。定量研究方法的创新,一是依赖于区域可持续发展理论的进一步突破以及系统结构与特性的深度挖掘;二是通过源自不同视角指标体系与方法的融合,综合利用以系统科学、非

线性方法和复杂性理论等知识来实现区域可持续发展定量评价研究的深度发展。以“3S”手段为代表的空间信息技术的进步将催生区域可持续发展研究新方法的发展和运用。

#### References:

- [ 1 ] Li L F, Zheng D. An assessment of regional sustainable development: progress and perspectives. *Progress in Geography*, 2002, 21(3): 237—248.
- [ 2 ] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D. Review indicators of measuring sustainable development. *China Population, Resources and Environment*, 2000, 10(2): 60—64.
- [ 3 ] Bao H J, Li Z S, Wang T. Conceptual model of sustainable development in sand-desertification region, China. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(2): 173—176.
- [ 4 ] Lei M. Design on the integrated accounting system between environment and economy of China. *Systems Engineering- theory & Practice*, 2000, 20(10): 17—26.
- [ 5 ] Yang Y X, Cai Y L. Sustainable valuation for resources and environment and development in rural China: the SEEA and its application research. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5): 596—606.
- [ 6 ] Xiu R X, Wu G, Zeng X A, *et al.* Research advances in assessment of green GDP indicator. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(7): 1107—1113.
- [ 7 ] Xu Z M, Zhang Z Q, Cheng G D, *et al.* Commentary on methods of measuring sustainable development by monetary analysis. *Ecological Economy*, 2001, (12): 7—9.
- [ 8 ] Ge X D, Ni J R, Zhang Q F, *et al.* Quantitative analysis of sustainable stockbreeding production in Kerqin. *Resources Science*, 2006, 28(2): 163—169.
- [ 9 ] Qin Y C, Xu M J. Study on the indicators of regional sustainable development. *Acta Geographica Sinica*, 1998, 53(2): 149—156.
- [ 10 ] Qin Y C, Niu S H. Application and improvement of ecological footprint method in regional sustainable development evaluation. *Resources Science*, 2003, 25(1): 1—8.
- [ 11 ] Li S D, Li Z Y, Long S Q, *et al.* Study on the indicator system of exterior estimation on ecological status. *Ecology and Environment*, 2007, 16(2): 698—703.
- [ 12 ] Liu Y H, Meng X Z. Time series of ecological footprint in China between 1962—2001: calculation and assessment of development sustainability. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2257—2262.
- [ 13 ] Zang S Y, Zhi R Z, Sun X M. Quantitative evaluation of sustainable development of resources-rich cites based on ecological track model: a case study of Daqing the petroleum city in Heilongjiang Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2006, 26(4): 420—425.
- [ 14 ] Lai L, Huang X J, Liu W L, *et al.* Adjustment for regional ecological footprint based on input-output technique: a case study of Jiangsu Province in 2002. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1285—1292.
- [ 15 ] Zhang J H, Zhang J. Touristic ecological footprint model and analysis of Huangshan City in 2002. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 763—771.
- [ 16 ] Peng J, Wu J S, Jiang Y Y, *et al.* Shortcomings of applying ecological footprints to the ecological assessment of regional sustainable development. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2716—2722.
- [ 17 ] Wu J S, Li P, Zhang Y Q. Sustainable development capacity evaluation based on urban ecological footprint: a case study of Shenzhen. *Resources Science*, 2008, 30(6): 850—856.
- [ 18 ] Lai L, Huang X J, Liu W L. Socio-economic driving model of regional ecological footprint: a case of Jiangsu Province from 1995 to 2003. *Resources Science*, 2006, 28(1): 14—18.
- [ 19 ] Dong X B, Gao W S, Yan M C. Emery analysis of agroecosystem productivity of typical valley in Loess hilly-gully region of the Loess Plateau: a case study in Zhifanggou Valley of Ansai County. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 223—229.
- [ 20 ] Cai J W, Fu X, Sun X W, *et al.* Ternary diagram used in emery accounting of regional agricultural economic systems. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 710—719.
- [ 21 ] Li H T, Liao Y C, Yan M C, *et al.* Emery evaluation and assessment of sustainability on the eco-economic system of Xinjiang. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 765—772.
- [ 22 ] Lu H F, Ye Z, Zhao X F, *et al.* A new emery index for urban sustainable development. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(7): 1363—1368.
- [ 23 ] Chen C F, Wang H Y, Xiao D N, *et al.* Comparison of sustainable development status in Heilongjiang Province based on traditional ecological footprint method and emery ecological footprint method. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(11): 2544—2549.

- [24] Yang D G, Niu W Y, Chen S F, *et al.* An evaluation of integrated dominance ability of regional sustainable development in China. *Scientific Management Research*, 2000, 18(5): 70–72, 78.
- [25] Huang C Y, Gu C L, Zhen F. A study on sustainable development ability of Jiangsu Province. *Economic Geography*, 2000, 20(5): 43–46, 51.
- [26] Cui L Z, Li Z B, Cao M M, *et al.* Studies on sustainable development evaluation of Loess Plateau in northern Shaanxi. *Progress in Geography*, 2001, 20(1): 29–35.
- [27] Su Z M, Lin B Y. Quantitative analysis on urban sustainable development degree and its phase states. *Areal Research and Development*, 2006, 25(1): 10–12.
- [28] Fang C L, Yehua D W. Evaluation on the sustainable development capacity and regularity of its regional differentiation in Hexi region. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(5): 561–569.
- [29] Hai R T, Wang H D, Wang L H, *et al.* The comprehensive evaluation method of urban sustainable development. *China Population, Resources and Environment*, 1997, 7(2): 46–50.
- [30] Guan W. The data analysis of regional water resources and economic society coupling system sustainable development. *Geographical Research*, 2007, 26(4): 685–692.
- [31] Gu C L, Zhen F, Huang C Y. Synthesized evaluation of capacity of sustainable development of cities in Jiangsu Province. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 2001, 37(3): 281–287.
- [32] Liu D D, Song S B. Assessment of sustainable utilization of water resources of northern Shaanxi. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2008, 26(4): 254–259.
- [33] Zhou Y, Wang S X, Yan S Y, *et al.* Evaluation information system for regional sustainable development. *Journal of Remote Sensing*, 2003, 7(1): 47–53.
- [34] Zhang X F, Cui W H. Integrating GIS and spatial statistical analysis to establish evaluation model of regional sustainable development: a case study in Myingyan Myanmar. *Journal of Remote Sensing*, 2001, 5(1): 34–40.
- [35] Zhuo M N, Wu Z F, Wang J Z, *et al.* Study on the spatial difference of sustainable development in the Pearl River Delta economic zone. *China Population, Resources and Environment*, 2002, 12(5): 117–120.
- [36] Song S B, Cai H J. Artificial neural network model for assessing the sustainable utilization of regional water resources. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(6): 89–92.
- [37] Zhang M, Jin J L, Zhang L B. Pursuit projection evaluation model based on principle of maximum entropy for river basin sustainability evaluation. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(2): 177–181.
- [38] Zeng M J, Cheng Z L. Neural networks optimized by genetic algorithm used in strategy of the sustainable development ability. *Systems Engineering-theory & Practice*, 2007, 27(4): 120–125.

#### 参考文献:

- [1] 李利锋,郑度. 区域可持续发展评价:进展与展望. *地理科学进展*, 2002, 21(3): 237–248.
- [2] 徐中民,张志强,程国栋. 可持续发展定量研究的几种新方法评介. *中国人口·资源与环境*, 2000, 10(2): 60–64.
- [3] 包慧娟,李振山,王涛. 沙漠化地区可持续发展的概念模型. *地理科学*, 2007, 27(2): 173–176.
- [4] 雷明. 中国环境经济综合核算体系框架设计. *系统工程理论与实践*, 2000, 20(10): 17–26.
- [5] 杨友孝,蔡运龙. 中国农村资源、环境与发展的可持续性评估——SEEA 方法及其应用. *地理学报*, 2000, 55(5): 596–606.
- [6] 修瑞雪,吴钢,曾晓安,等. 绿色 GDP 核算指标的研究进展. *生态学杂志*, 2007, 26(7): 1107–1113.
- [7] 徐中民,张志强,程国栋,等. 环境货币估价的定量探讨. *生态经济*, 2001, (12): 7–9.
- [8] 葛小东,倪晋仁,张琦峰,等. 科尔沁地区牧业生产及其可持续发展定量分析. *资源科学*, 2006, 28(2): 163–169.
- [9] 秦耀辰,徐铭杰. 区域可持续发展的指标研究. *地理学报*, 1998, 53(2): 149–156.
- [10] 秦耀辰,牛树海. 生态占用法在区域可持续发展评价中的运用与改进. *资源科学*, 2003, 25(1): 1–8.
- [11] 李世东,李智勇,龙三群,等. 生态状况外在判断指标体系研究. *生态环境*, 2007, 16(2): 698–703.
- [12] 刘宇辉,彭希哲. 中国历年生态足迹计算与发展可持续性评估. *生态学报*, 2004, 24(10): 2257–2262.
- [13] 臧淑英,智瑞芝,孙学孟. 基于生态足迹模型的资源型城市可持续发展定量评估——以黑龙江省石油城市大庆市为例. *地理科学*, 2006, 26(4): 420–425.
- [14] 赖力,黄贤金,刘伟良,等. 基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析——以 2002 年江苏省经济为例. *生态学报*, 2006, 26(4): 1285–1292.
- [15] 章锦河,张捷. 旅游生态足迹模型及黄山市实证分析. *地理学报*, 2004, 59(5): 763–771.
- [16] 彭建,吴健生,蒋依依,等. 生态足迹分析应用于区域可持续发展生态评估的缺陷. *生态学报*, 2006, 26(8): 2716–2722.

- [17] 吴健生,李萍,张玉清. 基于生态足迹的城市地域可持续发展能力评价——以深圳为例. 资源科学, 2008, 30(6): 850 ~ 856.
- [18] 赖力,黄贤金,刘伟良. 区域人均生态足迹的社会经济驱动模型——以 1995 ~ 2003 年江苏人均足迹为例. 资源科学, 2006, 28(1): 14 ~ 18.
- [19] 董孝斌,高旺盛,严茂超. 黄土高原典型流域农业生态系统生产力的能值分析——以安塞县纸坊沟流域为例. 地理学报, 2004, 59(2): 223 ~ 229.
- [20] 蔡井伟,付晓,孙晓伟,等. 相图法在区域农业经济系统能值研究中的运用. 生态学报, 2008, 28(2): 710 ~ 719.
- [21] 李海涛,廖迎春,严茂超,等. 新疆生态经济系统的能值分析及其可持续性评估. 地理学报, 2003, 58(5): 765 ~ 772.
- [22] 陆宏芳,叶正,赵新锋,等. 城市可持续发展能力的能值评价新指标. 生态学报, 2003, 23(7): 1363 ~ 1368.
- [23] 陈春锋,王宏燕,肖笃宁,等. 基于传统生态足迹方法和能值生态足迹方法的黑龙江省可持续发展状态比较. 应用生态学报, 2008, 19(11): 2544 ~ 2549.
- [24] 杨多贵,牛文元,陈劭锋,等. 中国区域可持续发展综合优势能力评价. 科学管理研究, 2000, 18(5): 70 ~ 72, 78.
- [25] 黄朝永,顾朝林,甄峰. 江苏可持续发展能力评价. 经济地理, 2000, 20(5): 43 ~ 46, 51.
- [26] 崔灵周,李占斌,曹明明,等. 陕北黄土高原可持续发展评价研究. 地理科学进展, 2001, 20(1): 29 ~ 35.
- [27] 程乖梅,何士华. 区域水资源可持续利用评价. 水文, 2006, 26(5): 20 ~ 24.
- [28] 方创琳, Yehua Dennis Wei. 河西地区可持续发展能力评价及地域分异规律. 地理学报, 2001, 56(5): 561 ~ 569.
- [29] 海热提·涂尔逊,王华东,王立红,等. 城市可持续发展的综合评价. 中国人口·资源与环境, 1997, 7(2): 46 ~ 50.
- [30] 关伟. 区域水资源与经济社会耦合系统可持续发展的量化分析. 地理研究, 2007, 26(4): 685 ~ 692.
- [31] 顾朝林,甄峰,黄朝永. 江苏省地级市可持续发展能力综合评价研究. 南京大学学报(自然科学), 2001, 37(3): 281 ~ 287.
- [32] 刘丹丹,宋松柏. 陕北地区水资源可持续利用评价. 干旱地区农业研究, 2008, 26(4): 254 ~ 259.
- [33] 周艺,王世新,阎守邕,等. 区域可持续发展评价系统研制. 遥感学报, 2003, 7(1): 47 ~ 53.
- [34] 张显峰,崔伟宏. 基于 GIS 与空间统计分析的可持续发展度量方法研究——以缅甸 Myingyan District 为例. 遥感学报, 2001, 5(1): 34 ~ 40.
- [35] 卓慕宁,吴志峰,王继增,等. 珠江三角洲经济区可持续发展空间差异的研究. 中国人口·资源与环境, 2002, 12(5): 117 ~ 120.
- [36] 宋松柏,蔡焕杰. 区域水资源可持续利用评价的人工神经网络模型. 农业工程学报, 2004, 20(6): 89 ~ 92.
- [37] 张明,金菊良,张礼兵. 流域可持续评价的最大熵原理——投影寻踪耦合模型. 地理科学, 2007, 27(2): 177 ~ 181.
- [38] 曾孟佳,程兆麟. 改进 GA 神经网络在可持续发展水平研究中的应用. 系统工程理论与实践, 2007, 27(4): 120 ~ 125.